

ONIC

Plan d'adaptation de la filière riz

UMR Innovation - INRA Montpellier

**Convention ONIC/INRA n° B05750
(1 Juillet 2004-31Aout 2005)**

RAPPORT D'ETUDE SCIENTIFIQUE

PARTIE 1 : Analyse Agronomique

**

TOME II : Diagnostic agronomique des pratiques de travail du sol en relation avec les états du sol et leurs conséquences sur la variabilité du rendement du riz.

AVANT PROPOS

Partie 1 : Analyse agronomique

Cette étude correspond à l'une des 3 actions (*) réalisées par l'UMR Innovation dans le cadre du Plan d'adaptation de la filière riz proposé et financé par l'Office National Interprofessionnel des Céréales.

L'action 1 correspond à une étude agronomique qui comporte trois niveaux d'analyses complémentaires.

- Une étude du système technique de production d'une exploitation agricole représentative des grandes exploitations céréalières de Camargue.
- Un suivi agronomique de parcelles riz cultivées échantillonnées en fonction de leur situation culturale représentative des différents types de conduite de culture étudiés : ITK simplifiés, types de sols, rotations. On étudiera en particulier les effets des différents types de conduite culturale sur l'élaboration du rendement et sur la qualité technologique de la production.
- Un diagnostic agronomique élaboré à partir d'une analyse des pratiques de travail du sol en relation avec les états du sol et leur conséquence sur la variabilité du rendement du riz.

Le Tome 1 de la partie 1 du rapport d'étude scientifique présente les résultats correspondant aux deux premiers niveaux d'analyse.

Le Tome 2 présente les résultats correspondant au troisième niveau d'analyse.

L'analyse agronomique a été coordonnée par **Jean-Claude MOURET** avec la participation technique de **Roy HAMMOND**. Les niveaux 1 et 2 ont été le support du stage de **Tierno Mourtada SY** pour l'obtention du Mastère Spécialisé « Agronomie et Innovation en milieu Rural » du Centre National d'Etudes Agronomique des Régions Chaudes.

Le diagnostic agronomique (Tome 2) a fait l'objet d'une étude agronomique et statistique approfondie réalisée par **Pascal CLOUVEL** et **Laurence BONVARLET** de l'équipe ITK du Cirad.

Nous remercions vivement Monsieur **Jean-Marc THUAU** pour son accueil, sa disponibilité et pour nous avoir communiqué sans réserve les nombreuses informations nécessaires à la bonne réalisation de cette étude.

Nous remercions également **Pascal MARNOTTE** malherbologue du Cirad pour son appui précieux concernant la question de l'enherbement des rizières.

Enfin un certain nombre de données font références à des études préalables réalisées dans le cadre du **Programme Concerté de Recherche du Centre Français du Riz** et recensées dans la base de données « **Agrosyst** ».

(*) L'UMR Innovation de l'INRA de Montpellier a conduit 3 actions qui s'inscrivent dans l'axe 2 du plan d'adaptation de la filière riz : « *Mettre en œuvre un programme d'actions destiné à permettre aux producteurs de mieux concilier performances économiques et respect de l'environnement* ».

- Une analyse agronomique décrite ci-dessus (partie 1, tomes 1 et 2 du rapport d'étude scientifique)
- Une analyse du fonctionnement technico-économique des exploitations rizicoles (partie 2 du rapport d'étude scientifique)
- Une plaquette de vulgarisation

INTRODUCTION	5
1. MATERIEL ET METHODE.....	6
1.1. CADRE D'ANALYSE	6
1.2. RECUEIL DE DONNEES AGRONOMIQUES : LA BASE « AGROSYST »	10
1.3. ANALYSE DES DONNEES	12
2. RESULTATS.....	14
2.1. OBJECTIFS EN MATIERE DE DENSITE DE PEUPLEMENT.....	14
2.2. PRATIQUES CULTURALES ET TAUX D'INSTALLATION DES PEUPLEMENTS	16
2.2.1. <i>Enfouissement des graines et état de surface : analyse des observations réalisées en 2001</i>	16
2.2.2. <i>Mortalité et état de surface</i>	23
2.3. ANALYSE DES PRATIQUES EN MATIERE DE TRAVAIL DU SOL	24
2.3.1. <i>Variabilité de pratiques</i>	24
2.3.2. <i>Evaluation des pratiques</i>	27
3. CONCLUSION	30
4. BIBLIOGRAPHIE	32
5. ANNEXES.....	34

INTRODUCTION

En Camargue, les cultures de blé dur et de riz sont associées au sein d'un système de production traditionnel dans lequel le riz inondé maintient l'aptitude des sols à produire en limitant les remontées de sel et le blé permet la gestion des adventices et la restructuration du sol. Ces deux cultures sont aujourd'hui remises en causes dans leur logique de production du fait d'une concurrence vive avec les autres bassins de production méditerranéens, de la menace qui pèse sur les aides européennes, et des difficultés agronomiques liées aux contraintes climatiques d'ordre thermiques pour le riz et hydriques pour le blé dur. Certains voient comme solution d'avenir l'intensification de la production rizicole avec pour objectif l'atteinte de niveaux de rendements proches de ceux des pays européens concurrents, l'Italie principalement. Cette voie n'entraîne toutefois pas l'adhésion de l'ensemble des producteurs et plusieurs modes de production co-existent. Parmi ceux-ci, l'agriculture biologique ainsi que d'autres modèles comme les systèmes bas intrants ou l'agriculture raisonnée. Ces évolutions se traduisent par une diversification des activités para-agricoles et agricoles dont l'élevage avec pour conséquence l'introduction de ressources fourragères (luzerne) dans le système de culture. Quel que soit le mode de production, la stagnation des prix de vente du riz concomitant à l'augmentation du coût des intrants s'accompagne d'une volonté générale de réduire les coûts de production. Parmi ceux-ci, le poste « travail » du sol représente un poste important et la question de l'optimisation se pose des pratiques de travail du sol par rapport à l'évolution des objectifs de production.

A la demande de la profession rizicole et dans le but d'identifier les déterminants du rendement, l'équipe d'agronomes de l'INRA-UMR innovation a mis en place un dispositif d'enquête pluri-annuel en parcelles d'agriculteurs. A ce jour les travaux conduits en 1992 et 1993 et chaque année depuis 1998 ont permis d'élaborer une base donnée comportant 307 situations de productions pour lesquelles les pratiques et les composantes du rendement ont été recueillies. L'analyse des résultats disponibles en 2002 (Mouret et Hammond, 2003) mettait en évidence l'importance du nombre de plants m^{-2} dans l'établissement du rendement. Or en Camargue, le riz est confronté à un grave problème de fonte de semis et selon Barbier *et al.* (1990) seulement une graine sur trois semée donne naissance à une plante viable. Par rapport à l'exigence du riz en température, la Camargue représente une zone de production septentrionale caractérisée par des températures basses au moment de l'installation de la culture et lors de la maturation des grains. Pour pallier à cette situation, la technique d'implantation généralement adoptée consiste à semer le riz à la volée dans la lame d'eau déjà installée. Toutefois si cette technique permet d'améliorer les conditions de milieu sur le plan de la température, elle soumet les graines et plantules aux risques d'enfouissement et d'arrachement que Barbier et Mouret (1995) ont décrit comme source majeure de mortalité sous l'effet des vents violents qui balaient le delta du Rhône.

L'objectif de l'étude est d'analyser, à la lumière de l'ensemble des données recueillies de 1992 à 2004, l'impact du travail du sol sur la « réussite » de l'installation de la culture. Le rapport se découpe en 3 parties, la description du matériel et des méthodes mises en œuvre dans l'étude, le diagnostic sur les facteurs impliqués dans les processus d'enfouissement et de mortalité en relation avec l'état de surface du sol au moment de la mise en eau des parcelles et l'analyse des pratiques mises en œuvre pour générer les états de surface observés.

1. MATERIEL ET METHODE

1.1. CADRE D'ANALYSE

L'étude bibliographique réalisée a pour objet d'établir le système de facteurs impliqués dans l'élaboration du nombre de plants m^{-2} , système que les producteurs mobilisent au travers des pratiques culturales dont le travail du sol.

Développement de la plantule

Yoshida (1981) distingue 3 phases dans la germination du riz. Durant la phase d'imbibition, la graine absorbe 25 à 35% de son poids en eau. A l'imbibition succède la phase d'activation de la germination au cours de laquelle les processus métaboliques de dégradation des réserves amylacées de la graine sont activés. Durant la phase postgerminative enfin, la graine épuise ses réserves pour le développement de la plantule. Ces étapes se sont essentiellement conditionnées par la température. Les graines germent en 48 heures pour une température comprise entre 27° et 37° (Yoshida, 1981). En dessous de cette plage de température optimale, la germination est beaucoup plus lente. Ainsi à 10°C, température généralement adoptée comme base pour le riz, l'émergence de la radicule peut prendre plus de 30 jours. La disponibilité de la graine en oxygène détermine l'ordre d'émergence entre le coléorhize et le coléoptile. En conditions d'aérobie, le coléorhize émerge en premier ou en même temps que le coléoptile alors qu'en conditions d'anaérobie, le coléoptile émerge en premier (Wayne Smith et Dilday, 2003). Si le riz est capable de germer en conditions d'anoxie stricte, il s'agit d'une germination très incomplète (Leblanc *et al.*, 1983). En absence d'oxygène, les racines n'apparaissent pas, leurs primordia sont toutefois formés mais la plante attendra de disposer de suffisamment d'oxygène pour développer son système racinaire (Kordan, 1976a).

Après la germination coléoptile et coléorhize continuent à se développer et une prophyllé et une radicule sont émises. La vitesse de développement de la plante durant cette phase est fortement dépendante de la température avec une plage optimale comprises entre 22 et 31°, un maximum critique à 40° et un minimum de 10° (Yoshida, 1981). La présence d'oxygène dans le milieu est nécessaire au développement des pigments chlorophylliens (Kordan, 1976b) sans lesquels l'accès à l'autotrophie n'est pas possible. En conditions anaérobies, le coléoptile s'allonge sans développement simultané des autres tissus, l'émergence du coléorhize, des racines séminales et de la prophyllé est retardée (Wayne Smith et Dilday, 2003). En condition d'hypoxie, la plante s'adapte par un allongement plus important du coléoptile lui permettant d'émerger rapidement vers une zone riche en oxygène (Turner *et al.*, 1981).

Une fois actif sur le plan de la photosynthèse, le coléoptile fournit l'oxygène nécessaire au développement des racines par transport actif de l'oxygène de l'air vers les racines (Kordan, 1977). Exposé au rayonnement de façon directe ou dans des conditions d'enfouissement superficiel des graines, le mésocotyle ne s'allonge pas. En conditions de semis profond par contre, le mésocotyle s'allonge pour favoriser l'émergence de la semence du sol. (Wayne Smith et Dilday, 2003). Par ailleurs, l'aération du sol a un important effet sur la croissance des racines, leur morphologie et l'architecture du système racinaire. En conditions inondées, il peut ne pas y avoir de développement de poils, la croissance est plus horizontale et la

profondeur excède rarement 40 cm (Yoshida, 1981). En conditions anaérobies, les racines développent peu ou pas de poils.

Disponibilité en oxygène (O₂)

L'O₂ et le gaz carbonique (CO₂) sont les principaux gaz dissous dans la solution du sol avec, comme sources, l'atmosphère pour l'O₂ et le sol pour le CO₂. La solubilité de l'O₂ dans l'eau est faible, environ 50 fois plus faible que celle du CO₂. Elle diminue en outre avec la température (Glinski et Stephniewski, 1985). Lorsqu'un sol est inondé, l'apport d'oxygène au sol est fortement réduit car le taux de diffusion d'O₂ dans le sol est bien plus faible que dans un sol insaturé en eau : la diffusion des gaz est environ 10 000 fois plus rapide dans l'air que dans l'eau. Cette diffusion dans le sol dépend largement de la porosité et de la quantité d'eau du sol (Don Scott *et al.*, 2003). Dans les heures qui suivent la submersion, les microorganismes extraient l'oxygène présent dans l'eau et qui est alors piégé dans le sol. Au bout d'une journée d'immersion, l'oxygène dans le sol n'est déjà plus détectable (Ponnamperuma, 1972). Comme la consommation d'O₂ est souvent plus élevée que son apport par diffusion, des conditions anaérobies se développent en sol inondé. La teneur en oxygène dans la lame d'eau par contre est relativement élevée en O₂ par rapport à celle du sol. En effet, dans la lame d'eau, la densité d'organismes consommant de l'oxygène est faible et les algues photosynthétiques produisent de l'oxygène. De plus le vent contribue à l'oxygénation par brassage de l'eau. Cumulés, ces mécanismes contribuent à l'existence d'une fine couche riche en oxygène à la surface du sol (Howeler et Bouldin, 1971). L'épaisseur de cette couche est variable suivant les sols. Elle dépend de l'apport en oxygène dans la lame d'eau, du transport et de la consommation d'O₂ dans le sol inondé. A cet égard, la hauteur de la lame d'eau et la gestion de son renouvellement participent également à la disponibilité en O₂.

Toxicités liées à l'inondation

L'inondation fait chuter le potentiel rédox qui peut atteindre en quelques jours des valeurs de -200mV (Puard, 1997), seuil pour lequel la croissance du riz est affectée. Dans un sol bien aéré, l'oxygène est l'accepteur final des électrons produits par l'oxydation microbienne du carbone organique. Dans les sols anaérobies, les bactéries pouvant utiliser des accepteurs d'électrons autres que l'oxygène prolifèrent. Ceci conduit à la réduction d'éléments comme l'azote, le manganèse, le fer et le soufre (Don Scott *et al.*, 2003). Dans des conditions d'anaérobiose poussées, certains composés réduits peuvent s'accumuler en concentration toxique pour le riz. C'est le cas du fer ferreux et des sulfures d'hydrogène qui peuvent asphyxier le système racinaire et compromettre l'absorption des minéraux (Tadano et Yoshida, 1978). De plus, l'absence d'oxygène peut provoquer une minéralisation incomplète de la matière organique créant des acides organiques, composés toxiques pour la germination et la croissance des plantules (Yu, 1985). En présence de résidus de culture non préalablement décomposés à l'air, les symptômes de toxicité aux acides organiques peuvent apparaître dans les trente premiers jours suivant la submersion. La diminution du potentiel redox varie en fonction de nombreux facteurs comme la quantité de matière organique et sa composition, le nombre et le type de bactéries du sol, les apports d'oxygène (gestion de la lame) et la quantité d'éléments chimiques réductibles comme les nitrates.

Mécanismes d'enfouissements des graines

Les travaux de C. Dürr (1984) en Camargue montrent qu'en condition de semis à la volée sur lame d'eau déjà installée (pratique la plus courante en Camargue), l'enfouissement des graines, même à faible profondeur (1 à 2 cm), réduit le taux de germination de manière importante. A partir d'une distribution à la surface du sol, l'enfouissement des semences est dépendant du comportement des agglomérats terreux sous l'action de l'eau (Monnier et Stengel (1982). Selon C. Dürr (1984), l'enfouissement des graines dans le sol serait favorisé par des lits de semence fins et billonnés, dans les matériaux les plus instables. Toutefois, alors que les graines placées en surface développent facilement leur coléoptile, elles rencontrent par contre des difficultés pour ancrer leurs racines avec pour résultat de rendre la plantule sensible à l'arrachage sous l'action du vent. La croissance des racines du riz est influencée par la porosité, la taille des pores et la rigidité du matériau. En conditions inondées, la mobilité des particules de petites tailles poreuses augmente fortement. Ainsi, la résistance des sables fins est plus faible que celles des sables grossiers (Kar et Ghildyal, 1975). Selon C. Dürr (1984), l'état de surface « idéal » qui retarde l'enfouissement tout en permettant l'ancrage des plantules serait constitué de petites mottes de stabilité structurale élevée. Cette configuration du lit de semence permettrait d'obtenir une surface suffisamment rugueuse et fragmentaire pour d'une part limiter la susceptibilité des plantules à l'arrachage sous l'effet du vent et d'autre part retarder l'enfouissement.

Effet des pratiques culturales et place du travail du sol dans le système

La figure 1 présente le schéma relationnel de l'effet des pratiques agricoles sur l'établissement du nombre de plants m^{-2} . La durée de la phase d'installation du peuplement dépend de la température, elle-même déterminée par la date de semis et la gestion de la lame d'eau d'inondation. Cette durée représente le temps durant lequel les graines puis les plantules sont vulnérables à l'enfouissement et à l'entraînement sous l'effet des mouvements d'eau lors des épisodes de grand vent. L'enfouissement des graines et les conséquences en matière d'anoxie représente une cause majeure de fonte des semis. La toxicité et l'anoxie du milieu sont renforcées par la décomposition des débris de récolte en surface sous l'effet de l'activité des micro-organismes. En matière de pratiques, l'enfouissement est limité par les opérations d'à-sec. L'à-sec, consistant à chasser temporairement l'eau d'inondation de la parcelle, a plusieurs fonctionnalités. Au cours du stade d'installation du peuplement, l'à-sec permet de limiter l'effet mécanique du vent sur l'entraînement des graines. Au moment du stade 3 feuilles, l'à-sec est préconisé afin de favoriser l'enracinement des plantules grâce à son effet sur l'oxygénation du milieu. Enfin, certains traitements herbicides se font en situation d'à-sec. Par ailleurs, la susceptibilité à l'enfouissement est plus ou moins importante selon l'état de surface du sol et son évolution au cours de la levée.

Dans le système qui nous intéresse, le travail du sol a pour objet d'aboutir à un état de surface caractérisé par une rugosité et un taux de présence de débris de récoltes. Les pratiques de travail du sol mises en œuvre tiennent compte du système de culture et du mode de gestion des résidus du précédent cultural.

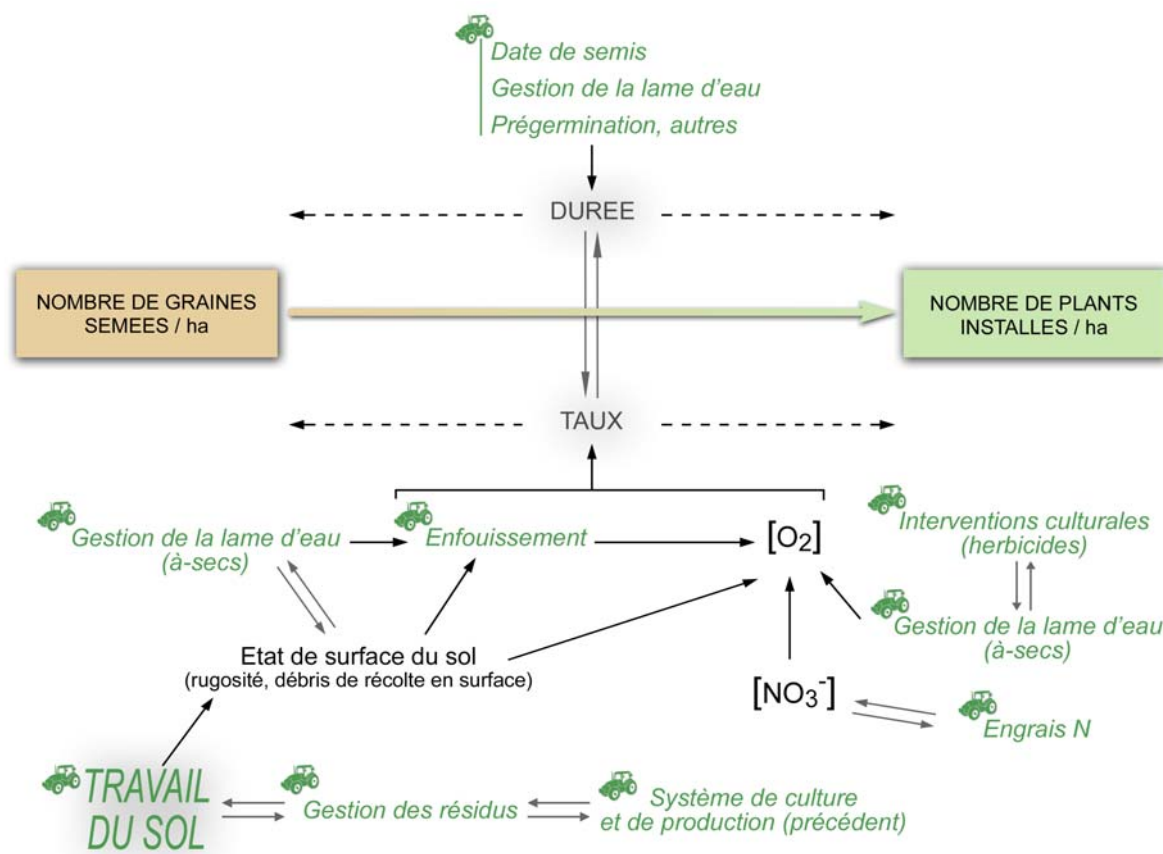


Figure 1 : schéma relationnel de l'effet des pratiques agricoles sur l'établissement du nombre de plants m^{-2} .

1.2. RECUEIL DE DONNEES AGRONOMIQUES : LA BASE « AGROSYST »

Le dispositif est constitué d'un réseau de parcelles représentatif des systèmes de culture et des systèmes de production agricole de la Camargue.

Choix des exploitations

Le choix des exploitations agricoles retenues dans le dispositif s'appuie sur une typologie des systèmes de production qui distingue les systèmes de culture conventionnels et biologiques au sein desquels on opère une partition entre les systèmes de production céréaliers stricts des systèmes intégrant un élevage ovin ou bovin. Un deuxième choix s'établit sur la base d'une représentation spatiale du territoire afin de prendre en compte les disparités liées à la constitution géomorphologique du delta de Camargue. Enfin le choix des exploitations résulte d'une adhésion volontaire des agriculteurs dans le cadre d'un partenariat avec les chercheurs mobilisés dans la démarche de diagnostic agronomique régional.

Choix des parcelles

Sur chaque exploitation du dispositif, une à plusieurs parcelles ont été choisies en fonction de la nature et de la durée du précédent cultural et en fonction de leur toposéquence. En effet des études antérieures (Mouret *et al.*, 1994) ont montré une relation entre l'altitude, la texture et la salinité des sols des rizières de Camargue. Les parcelles retenues font l'objet d'un suivi agronomique pluriannuel permettant de prendre en compte les changements techniques opérés par les agriculteurs et les effets de la variabilité climatique.

Variabilité de situations explorées par la base

Le Tableau n°1 donne la répartition des parcelles suivies par année, localisation dans le bassin de production Camarguais, mode de production et type d'exploitation. Les 317 parcelles suivies se distribuent sur l'ensemble du bassin, en proportion de l'importance des superficies rizicoles du Nord au Sud de la Camargue. Le mode de production « bio » est pris en compte depuis 1992 mais fait l'objet d'une attention renforcée de 2001 à 2003. L'influence du type d'exploitation, céréalière ou élevage, sur la conduite du riz est quantifiable de 1992 à 2003 avec un effectif d'environ 50% des cas chaque année.

Tableau 1 : répartition des parcelles par année, localisation, mode de production et type d'exploitation

Année	Agriculteurs nombre	Parcelles nombre	Localisation des parcelles*				Mode de production		Type d'exploitation	
			1	2	3	4	conventionnel	bio	céréale	élevage
1992	26	77	18	30	27	2	72	5	46	31
1993	5	46	0	9	23	14	42	4	28	18
1998	9	42	0	28	14	0	38	4	23	19
1999	11	22	2	12	6	2	15	7	11	11
2000	11	20	1	11	7	1	15	5	15	5
2001	17	39	8	14	11	6	23	16	28	11
2002	12	44	6	7	7	14	18	16	18	16
2003	13	13	6	4	1	2	0	13	7	6
2004	1	14	14	0	0	0	14	0	14	0

* 1 = "basse Camargue" au sud de Sambuc; 2 = "moyenne Camargue" entre Sambuc et Gageron ;
3 = "haute Camargue" entre Gageron et Arles ; 4 = Nord d'Arles

Plusieurs variétés sont cultivées une même année avec une tendance à la diversification des objectifs de qualité du grain (longueur) depuis plusieurs années. Cette tendance s'observe également dans le dispositif avec une décroissance de la proportion des 2 variétés dominantes Thaïbonnet et Ariete, largement dominantes dans les années 90, encore présentes mais en faible proportion par la suite (Tableau 2).

Tableau 2 : répartition des variétés utilisées dans les parcelles suivies au cours du temps

Variétés	1992	1993	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	Total
Thaïbonnet	23	9	4	4	2	2	1	0	3	49
Ariete	37	11	14	10	10	14	8	3	0	107
Cigalon	10	13	0	0	0	3	5	2	0	33
Autres	7	13	25	8	6	20	20	8	11	118

Les « autres » variétés sont au nombre de 22, avec Augusto, Fidji, Gladio, Pegaso, Aychade, Saturno, Vela, Adriano, Balilla, Bravo, Fensa, Arelate et Loto sur moins de 5 parcelles chacune, Eolo, Lido, Sillaro, Crypto, Hélène et Savio sur moins de 10 parcelles et Rouge, Sélénio et Koral respectivement sur 12, 16 et 17 parcelles chacune.

Recueil des données

▪ *Fonctionnement du peuplement végétal*

La méthode adoptée repose sur l'analyse des composantes du rendement selon le schéma de décomposition suivant :

$$RDT = [NPI \text{ m}^{-2} \times Npa \text{ PI}^{-1} \times NG \text{ Pa}^{-1} \times P1G] \times 10\,000$$

Avec :

$NPI \text{ m}^{-2}$ = nombre de plants m^{-2}

$Npa \text{ PI}^{-1}$ = nombre de panicules par plant

$NG \text{ Pa}^{-1}$ = nombre de grains par panicule

$P1G$ = poids moyen d'un grain (g)

Le nombre de plants m^{-2} est quant à lui décomposé en nombre de grains semés m^{-2} ($NGS \text{ m}^{-2}$), calculé à partir de la déclaration de l'agriculteur sur la quantité semée divisée par le poids moyen d'une graine de la variété considérée, et le % de plants installés par rapport au nombre de grains semés Ce pourcentage est établi à l'issue de la phase d'installation du peuplement. Dans les notations, le peuplement est considéré installé dès que le système racinaire assure l'ancrage des plants dans le sol, soit en moyenne au stade 4-5 feuilles du brin maître. Les mesures sont effectuées sur 5 plots de 0.25 m^2 par station observée, à raison d'une station par parcelle d'agriculteur.

▪ *Etats du milieu*

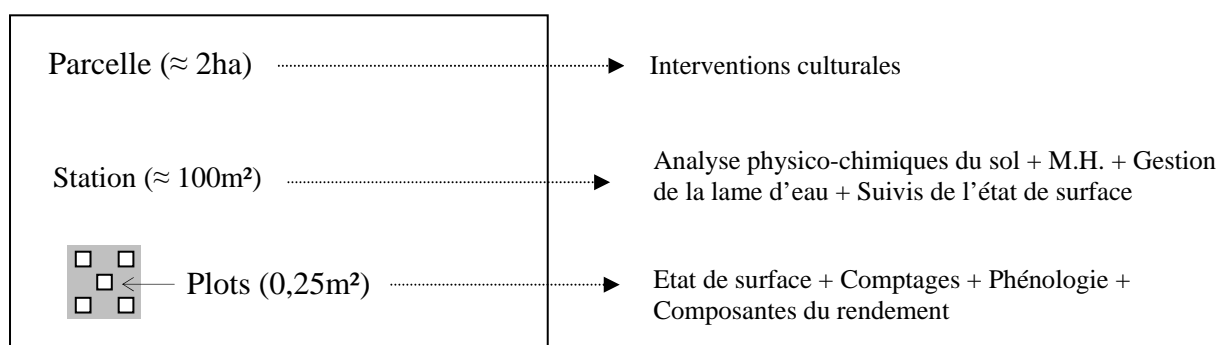
Une analyse physico-chimique du sol est réalisée pour chacune des parcelles du dispositif. Toutefois, en raison de la stabilité de la composition chimique du sol sur le pas de temps considéré, les analyses ne sont pas répétées dans le temps. L'analyse

de sol est réalisée l'année de l'intégration de la parcelle au sein du dispositif. Sur chaque parcelle et année de culture, les mauvaises herbes (MH) sont identifiées par leur nature, leur nombre et leur biomasse aérienne à la récolte du riz.

▪ *Enregistrement des pratiques culturelles*

L'enregistrement des pratiques culturelles incluant l'histoire culturelle de chaque parcelle est établi au cours de trois entretiens avec l'agriculteur. Le premier entretien est réalisé un ou deux mois avant la mise en place de la culture. Il permet d'accéder aux objectifs de l'agriculteur et aux règles de décision relatives à la conduite prévisionnelle des actions qu'il prévoit réaliser. Le deuxième entretien se déroule en cours de culture. Il a pour objectif d'enregistrer les opérations effectivement réalisées et de réajuster éventuellement les changements techniques ou opérationnels survenus par rapport aux prévisions préalablement recueillies.

Le schéma ci après permet de resituer les différentes échelles de recueil de données techniques mobilisées dans le dispositif.



▪ *Etude spécifique de l'installation du peuplement*

Une attention particulière aux conditions d'installation de la culture a été portée en 1992, 1993 et 2001. En 1992, 1993 et 2001 l'état de surface du sol avant la mise en eau a été caractérisé en regard de la taille des mottes (moyenne, variabilité autour de la moyenne) et de la présence de résidus de récolte en surface. En 2001, la longueur du coléoptile puis le nombre de feuilles du brin maître ont été mesurées sur un pas de temps bihebdomadaire. La hauteur de la lame d'eau et le nombre de graines puis de plantules m^{-2} ont également été mesurés sur un pas de temps bihebdomadaire.

1.3. ANALYSE DES DONNEES

A titre exploratoire, des analyses factorielles de correspondances multiples (WinStat-ic, version 1.0 - Novembre 1997, copyright © ITCF/CIRAD) ont été réalisées sur l'ensemble du dispositif pour identifier d'éventuelles relations entre le taux d'installation observé, les états permanents du milieu et les pratiques observées, dont le travail du sol (labour, nombre de passage d'outils etc). L'absence de relation de corrélation évidente entre des facteurs (toutes choses égales par ailleurs dans des dispositifs expérimentaux) explicatifs de la fonte des semis, suggère l'existence d'interactions suffisamment fortes pour masquer l'effet direct d'un facteur sur le taux d'installation. Pour contourner cette difficulté, la méthode adoptée a consisté d'une part à segmenter l'étude en deux étapes grâce à la prise en compte de l'état de

surface avant mise en eau et semis. L'état de surface, décrit en 1992, 1993 et 2001, est caractérisé par un diamètre de mottes dominantes et la présence de débris de récoltes en surface. L'analyse se décompose ainsi en deux étapes, la première relative à l'impact de l'état de surface sur le taux d'installation, la seconde sur l'analyse des pratiques mises en œuvre pour aboutir à un état de surface. D'autre part, face aux interactions a priori générées par la forte anthropisation des processus comme le montre la figure 1 (symbole du tracteur), une démarche système a été mise en œuvre. Cette démarche concerne plus particulièrement les données de 2001, année au cours de laquelle la plupart des facteurs impliqués dans le processus d'installation ont été mesurés sur une trentaine de parcelles (enfouissement, hauteur de la lame d'eau, stades de développement des plantules).

Par construction, la base de données AGROSYST comporte de nombreuses variétés ce qui pose le problème de l'interaction entre génotypes et conditions de milieu pour l'interprétation de l'effet des pratiques. Le comportement des variétés après la phase d'installation dépend fortement du génotype et l'analyse des composantes du rendement est donc réalisée par variété. D'après l'expertise des professionnels du riz en Camargue, certaines variétés s'installent plus facilement que d'autres et à cet égard Thaïbonnet semble plus particulièrement sensible aux problèmes de froid et d'anoxie du milieu durant la phase d'installation. A l'exception de Thaïbonnet, variété à phénotype proche du type Indica cultivée en raison de la longueur du grain et de sa teneur en amylose supérieure à 21 % (long B), l'hypothèse est avancée d'un comportement identique des autres variétés (toutes du type Japonica) vis-à-vis de l'installation. Enfin, pour évaluer l'effet des pratiques en regard du type d'exploitation et du mode de production, le dispositif présente un biais dû à la surreprésentation de certains producteurs (tableau 1) pour lesquels plusieurs parcelles sont suivies certaines années. Les analyses statistiques présentées ont été faites avec SYSTAT Version 8.0 (Copyright © SPSS INC., 1998).

2. RESULTATS

Le nombre de plants m^{-2} s'établit comme le produit entre la quantité de graines semée et le taux d'installation de la culture. Les résultats sont donc présentés selon trois paragraphes relatifs aux objectifs de densité, au diagnostic sur le rôle de l'état de surface dans l'élaboration du taux d'installation de la culture et enfin à la relation entre travail du sol et état de surface du sol avant le semis.

2.1. OBJECTIFS EN MATIERE DE DENSITE DE PEUPLEMENT

Alors que Mouret et Hammond (2003) ont montré que le nombre de plants minimum en dessous duquel le potentiel de rendement régional ne peut plus être atteint se situe à 150 plants m^{-2} , on peut se poser la question de la charge financière que représente la quantité de semences épanchée, en moyenne 800 graines m^{-2} . L'analyse des composantes du rendement réalisée sur les 3 variétés les plus représentées dans le dispositif permet d'apporter des éléments de réponse.

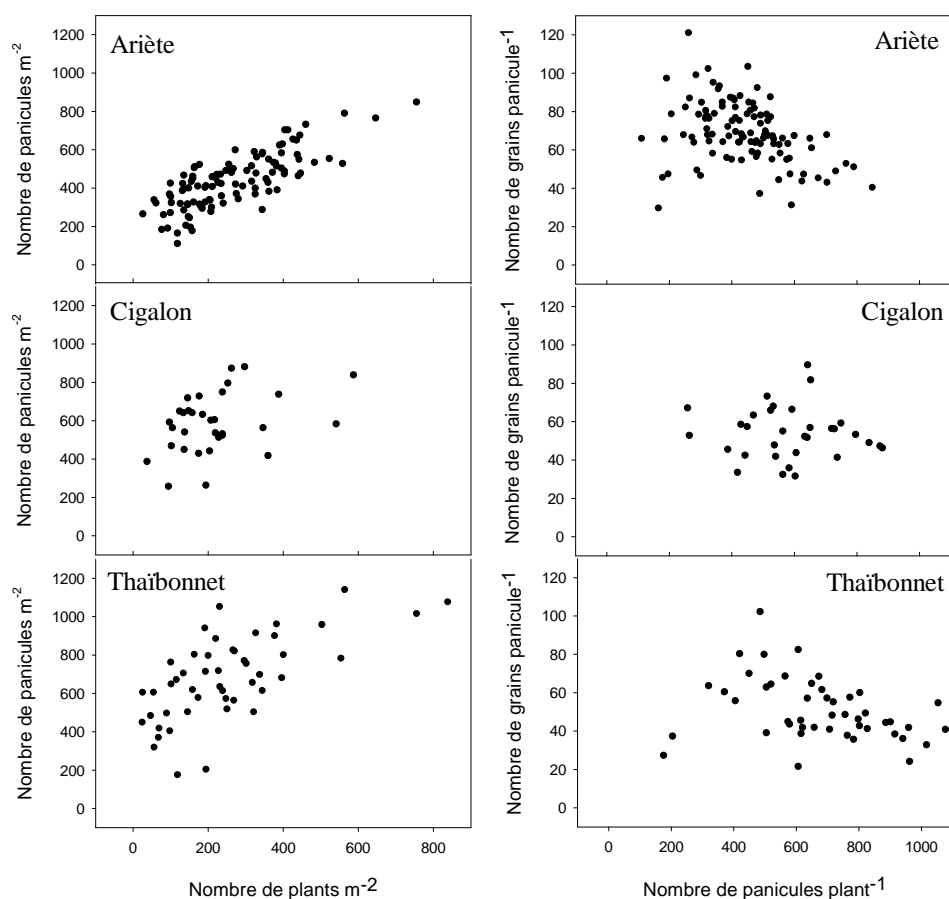


Figure 2 : analyse des composantes du nombre de grains m^{-2} pour les variétés Ariète, Cigalon et Thaïbonnet

Sur la figure 2, le nombre de panicules à la récolte est représenté en fonction du nombre de plants m^{-2} et le nombre de grains par panicule représenté, toutes années confondues, en fonction du nombre de panicules pour les variétés Ariète, Cigalon et Thaïbonnet. Pour Ariète, variété caractérisée par un faible tallage, le nombre de panicules par m^2 augmente de façon linéaire avec le nombre de plants m^{-2} jusqu'à

500 plants m^{-2} et peut-être au delà au vu du comportement des quelques parcelles à densité supérieure. Le nombre potentiel de grains par panicule (80) est optimum entre 300 et 500 panicules par m^2 et décroît au delà. Pour Thaïbonnet, variété au contraire caractérisée par un fort tallage, le maximum de panicules m^{-2} est atteint dès 250 plants m^{-2} et le nombre potentiel de grains par panicule (80) est optimum entre 450 et 650 panicules par m^2 . En confrontant les informations obtenues sur la relation entre les deux séries de figures, on constate que le nombre de panicules au delà duquel le nombre maximum de grains par panicule est altéré correspond respectivement à 300 et de 250 plants m^{-2} pour Ariete et Thaïbonnet. Bien qu'établi à partir de moins de cas, il semble que le comportement de la variété Cigalon se rapproche de celui de Thaïbonnet.

Tableau 3 : *variabilité du nombre de graines semées et de plants installés (toutes parcelles confondues)*

		Ariete	Cigalon	Thaïbonnet	Autres
NGS m^{-2} (nb graines)	Effectif	107	32	49	105
	moyenne	725	680	766	828
	écart-type	81	143	108	162
NPI m^{-2} (densité)	Effectif	107	32	49	117
	moyenne	266	218	245	257
	écart-type	137	121	176	130

Si l'on compare ces résultats avec les réalisations des agriculteurs, on constate que le nombre de plants installés moyen se situe à 250 plants m^{-2} , quelle que soit la variété (Tableau 3), avec toutefois une forte variabilité autour de la moyenne. Ce nombre de plants/ m^2 est obtenu à partir d'une moyenne de 750 graines/ m^2 semées, conforme aux observations réalisées par ailleurs en Camargue. Le fait que les variétés se comportent de façon similaire en ce qui concerne la fonte de semis suggère que le phénomène serait plus redevable des conditions de milieu prévalant au moment de l'installation plutôt qu'à un effet génétique. On remarquera ainsi que Thaïbonnet, dont la difficulté d'installation est avancée par les experts, ne présente pas une mortalité moyenne différente des autres variétés mais une importante variabilité autour de cette moyenne (fort écart type). Par ailleurs, on n'observe pas de spécificité de pratique d'une variété à l'autre quant à la quantité de graines épandues au semis. Alors que les variétés se comportent de façon très contrastée à cet égard, l'aptitude à taller de Thaïbonnet n'est apparemment pas valorisée sur le plan du nombre de graines semées. On peut donc émettre l'hypothèse que ce qui est principalement recherché comme objectif par les producteurs est une couverture rapide du sol par le feuillage en regard d'une vitesse de développement et de la compétition avec les adventices. Compte tenu de la variabilité du taux d'installation, on peut également déduire que les producteurs sont confrontés à une pluralité de fonctionnements des peuplements avec, comme l'illustre l'analyse des composantes du rendement, l'existence de compétitions intra plantes pour l'élaboration du nombre de grains entre nombre de panicules m^{-2} et nombre de grains par panicules au delà de 250 à 300 plants m^{-2} (figure 2).

Ces aspects déterminants du rôle de la densité de plants m^{-2} dans le fonctionnement des peuplements et la conduite de la culture seront abordés dans des études ultérieures.

2.2. PRATIQUES CULTURALES ET TAUX D'INSTALLATION DES PEUPELEMENTS

L'impact de l'état de surface sur le système décrit sur la figure 1 et le taux d'installation des peuplements est étudié selon l'enfouissement des graines et la mortalité des plantules.

2.2.1. Enfouissement des graines et état de surface : analyse des observations réalisées en 2001

Température de l'air sous abri durant la phase d'installation

Les données climatiques disponibles proviennent de la station météorologique de Méjane, localisée au centre du dispositif d'étude. De façon globale en Camargue, la température moyenne quotidienne de l'air croît de façon linéaire depuis le début avril jusqu'au 1^{er} juillet avec toutefois une importante variabilité interannuelle (figure 4). En 2001, la température commence à dépasser 13°C à partir du 23/4, date à partir de laquelle commencent les semis. Du 25 au 30 avril, la température moyenne est stable à 15°C puis, après une chute en dessous de 13°C les 2 et 3 mai, augmente de façon linéaire pour atteindre 18°C le 10 mai. Après une période stable à 18°C du 10 au 23 mai, la température augmente pour atteindre 22°C et plus à partir du 25 mai. Les 3 premières semaines de juin se caractérisent par des températures plutôt froides, souvent inférieures à 20°C et « l'été » ne s'installe donc qu'à partir du 20 juin. Les dates de semis se répartissent entre le 23 avril au 12 mai, avec une date très tardive le 2 juin, couvrant ainsi une gamme étendue de températures au cours de la phase d'installation.

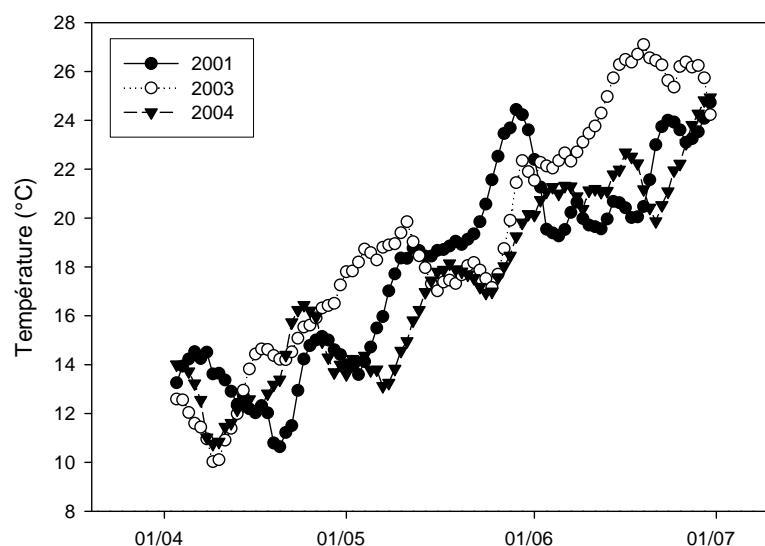


Figure 3 : évolution de la température moyenne de l'air sous abri (station de Méjane) durant la phase d'installation du peuplement en 2001, 2003 année « chaude » de référence et 2004 année « froide » de référence.

Gestion de la lame d'eau

L'évolution de la hauteur de la nappe d'eau des parcelles depuis le semis jusqu'à l'installation des peuplements (stade 4-5 feuilles) est présentée en Annexe I. Ces évolutions se distribuent en 4 types selon la hauteur de la lame en début de phase

d'installation d'une part et la hauteur moyenne de la lame en relation avec les périodes d'à-secs réalisées au cours de la phase d'émission, des vraies feuilles. L'à-sec, consistant à chasser temporairement l'eau d'inondation de la parcelle, a plusieurs fonctionnalités. Au cours du stade d'installation du peuplement, l'à-sec permet de limiter l'effet mécanique du vent sur l'entraînement des graines. Il est également nécessaire en préalable à certaines interventions culturales de désherbage. A partir du stade 2-3 feuilles enfin, l'à-sec est préconisé afin de favoriser l'enracinement des plantules (Mouret, communication personnelle). Le type BB (B pour bas) correspond à une conduite basse avec une hauteur de lame toujours inférieure à 10 cm lors de la germination suivie d'un plateau à 5 cm et moins durant la suite de la phase d'installation du peuplement. Le type BH (H pour haut) présente la même caractéristique que le type BB concernant le début de la phase d'installation mais diffère de celui-ci par une hauteur supérieure ensuite. Le type HB correspond à une hauteur de lame toujours supérieure à 10 cm au moment de la germination, suivie d'une baisse plus ou moins rapide de la hauteur de la lame jusqu'à environ 5 cm au stade 3F. Le type HH enfin correspond à une lame maintenue régulièrement supérieure à 8 cm durant toute la phase d'installation du peuplement. Sur les 33 parcelles suivies en 2001, 15 sont conduites selon le type BB, 3 sont conduites selon le type BH, 8 selon le type HB et 6 selon le type HH.

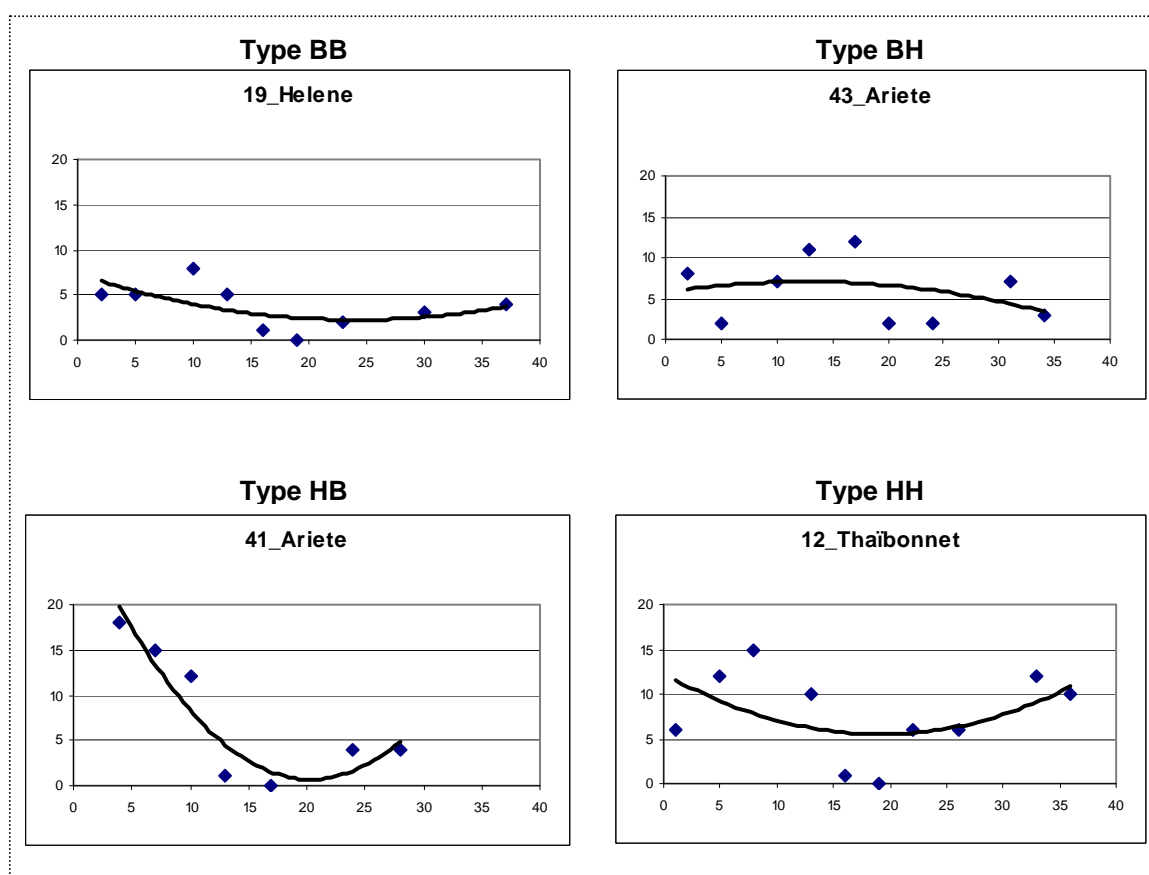


Figure 4 : typologie d'évolution de la hauteur de la lame d'eau au cours du temps exprimé en jours après semis (JAS).

Sur l'ensemble des cas, 2 parcelles à texture sablo-limoneuse (n°39 et 50) et 6 « terres neuves » après luzerne sur sol limoneux (n°30, 36, 44, 45, 47 et 52) présentent à priori un caractère drainant marqué. Sur ces 8 parcelles, 6 ont été conduites selon le type BB, une selon le type HB (n°30) et une selon le type HH (n°52). Sur l'ensemble des autres parcelles, la gestion de la lame apparaît à priori indépendante de la texture. La gestion basse durant la phase de germination n'est donc pas nécessairement associée à une contrainte de perméabilité du sol de la parcelle et relève donc plutôt d'un choix de conduite de la part de l'agriculteur. A l'exception de 5 parcelles conduites selon les types BB ou HB, des à-secs ont été réalisés sur la plupart des parcelles dont certains à l'occasion de l'épandage d'herbicide. Aucune intervention culturale n'a été réalisée en cours d'installation du peuplement sur 14 parcelles (Annexe II).

Pratiques culturales et durée des phases de développement

La vitesse de développement des plantes et du riz en particulier dépend de la température. Celle-ci varie avec la date de semis (figure 3) en relation avec la température de l'air. En terme de thermodynamique, la hauteur de la lame d'eau contribue à la vitesse de réchauffement du système sol-lame. En plus de l'effet de la date de semis, un effet du type de conduite adoptée pour la hauteur de la lame devrait donc aussi s'observer sur la vitesse de développement des plantules. Sur les figures 4a, la durée de la germination, comptée du semis à la date d'apparition de la 1^{ère} feuille vraie, est présentée en fonction de la date de semis.

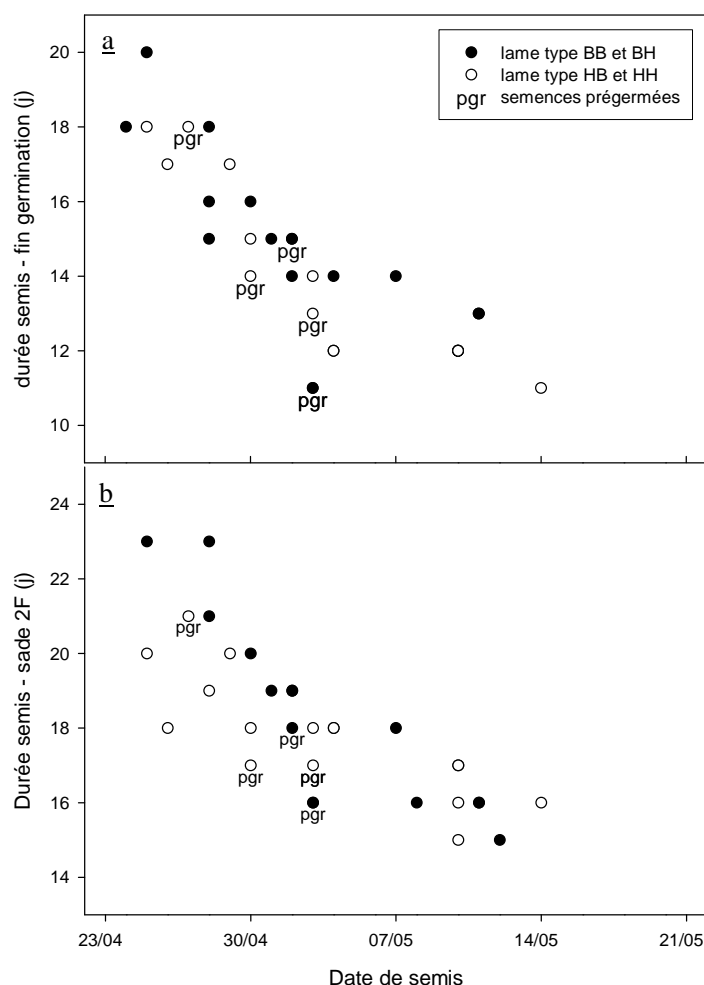


Figure 5 : durée de développement du riz sous l'effet de la température : durée semis – émission de la 1^{ère} feuille vraie (a) et durée semis-fin d'expansion de la feuille 2 (b)

La durée de la germination varie de 11 à 20 jours, en relation directe avec la date de semis et donc la température de l'air. Pour le semis tardif du 2 juin (non montré sur la figure), la durée de germination est de 13 jours. On peut donc avancer l'hypothèse que la durée de la germination diminue peu au delà du 3 mai, et ceci quelle que soit la date de semis. Au vu de ces résultats, la durée de la germination doit pouvoir s'exprimer par une fonction exponentielle décroissante de la température de l'air ($y = ae^{-bx}$) sur la période considérée. Sur la figure 4b, la durée semis – stade 2 feuilles vraies du brin maître (2F) est exprimée en fonction de la date de semis. Sur cette figure, l'effet de la date de semis apparaît également, mais de façon moins marquée que sur la figure 4a, en raison de l'apparition d'un effet significatif du type de gestion de la lame d'eau. Sur la figure 4b en effet, la durée d'atteinte du stade 2F des peuplements semés avant le 3 mai et conduits sous lame haute en début de phase (HB et HH) d'installation apparaît inférieure de 2 à 4 jours par rapport à celle des peuplements conduits selon les types BB et BH. Au delà du 3 mai, la température de l'air n'apparaît plus comme un facteur limitant de la vitesse de développement et sur les quelques points concernés il n'y a plus d'effet du type de gestion de la lame.

Plusieurs facteurs sont susceptibles d'expliquer le fait que le type de gestion de la hauteur de la lame influe plus sur la durée semis-2F que sur la durée de la germination. En premier lieu, le processus de germination commence dès la mise en eau et on peut penser que l'effet de la hauteur de lame sur la température ne s'exprime qu'à partir d'un certain laps de temps. L'hypothèse peut également être avancée que du fait de la sensibilité particulière des mécanismes d'expansion cellulaire, l'émission et le déploiement des feuilles « répondent » mieux à l'accroissement de la température générée par une gestion haute de la lame, des types HB et HH. Parmi les parcelles suivies, 6 ont été semées avec des graines prégermées (pgr). Sous réserve du nombre insuffisant de points pour en tirer des règles fiables, on constate une tendance à l'intérêt de cette pratique à partir d'une certaine température et il semble que la prégermination présente moins d'intérêt en condition froide de semis précoce. Enfin, Thaïbonnet, présente seulement sur deux parcelles du dispositif et conduite selon une gestion de lame de type HB ne manifeste pas de comportement particulier par rapport aux autres variétés.

Enfouissement et mortalité des graines et plantules au cours de l'installation du peuplement

Le suivi du nombre de graines et plantules visibles par transparence au fond de la lame d'eau au cours du temps permet d'identifier les dates, stades de développement du riz et conséquences de l'enfouissement sur la mortalité des graines et plantules au cours de la phase d'installation du peuplement. Les évolutions peuvent se classer selon trois types en fonction du taux d'enfouissement observé tôt après le semis (coléoptile non encore visible à coléoptile 1 cm) et le niveau de létalité induit par l'enfouissement (Figure 6 et détail par parcelle en Annexe III).

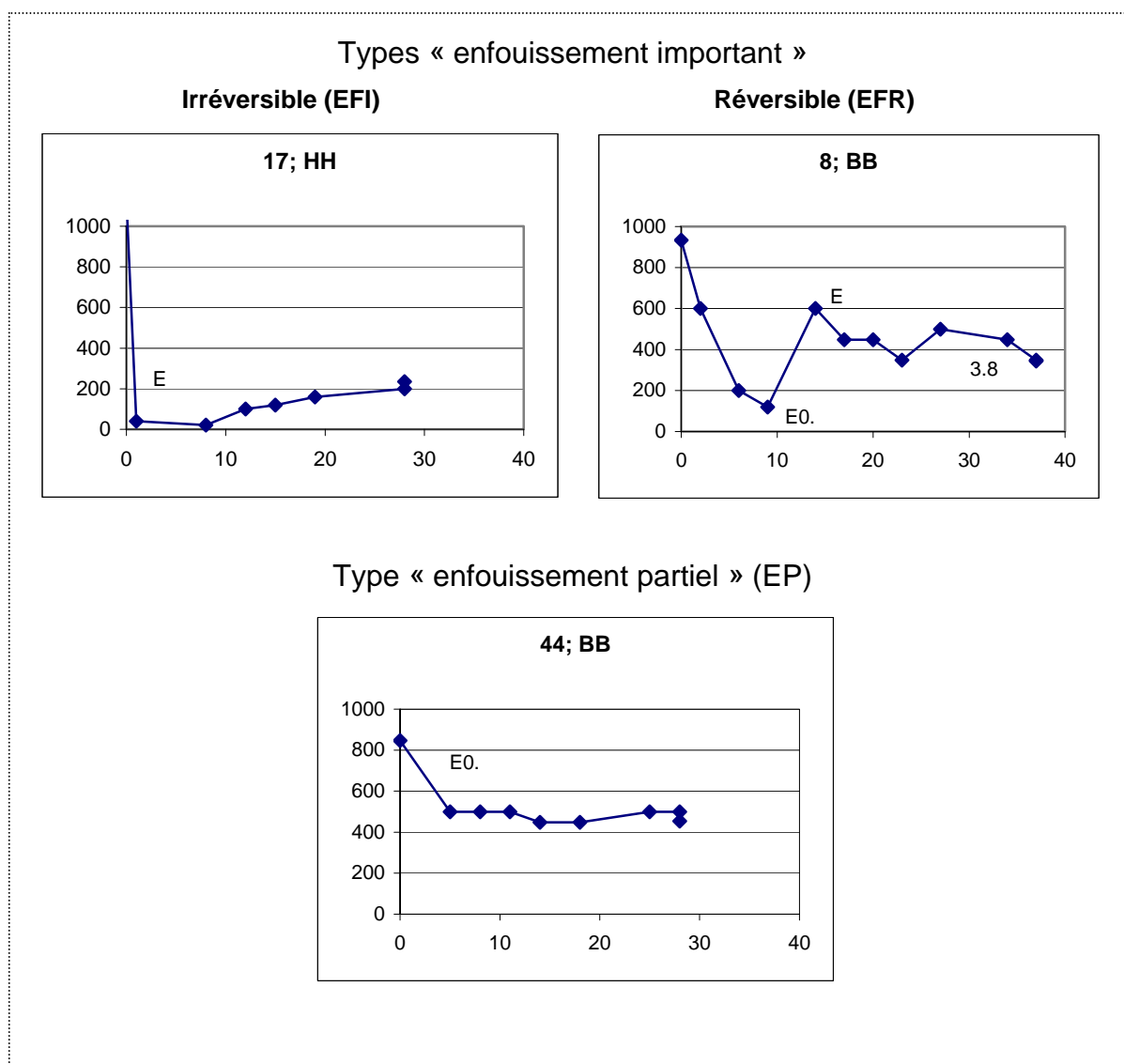


Figure 6 : typologie d'évolution du nombre de graines et plantules visibles au fond le lame d'eau au cours de la phase d'installation du peuplement.

Le type « enfouissement fort et irréversible » (EFI) se caractérise par l'enfouissement rapide de la majorité des semences avec pour conséquence la mortalité de la plupart d'entre-elles. Ce type correspond à des implantations régulièrement inférieures à 300 plants m^{-2} . Dans le type « enfouissement important mais réversible » (EFR), la plupart des graines ne sont plus visibles après semis mais certaines d'entre-elles, vraisemblablement enfouies de façon superficielle, parviennent à germer et redeviennent apparentes alors que le coléoptile se développe. Le type « enfouissement partiel » (EP) correspond quant à lui à une disparition irréversible de 25 à 40 % des graines immédiatement après le semis.

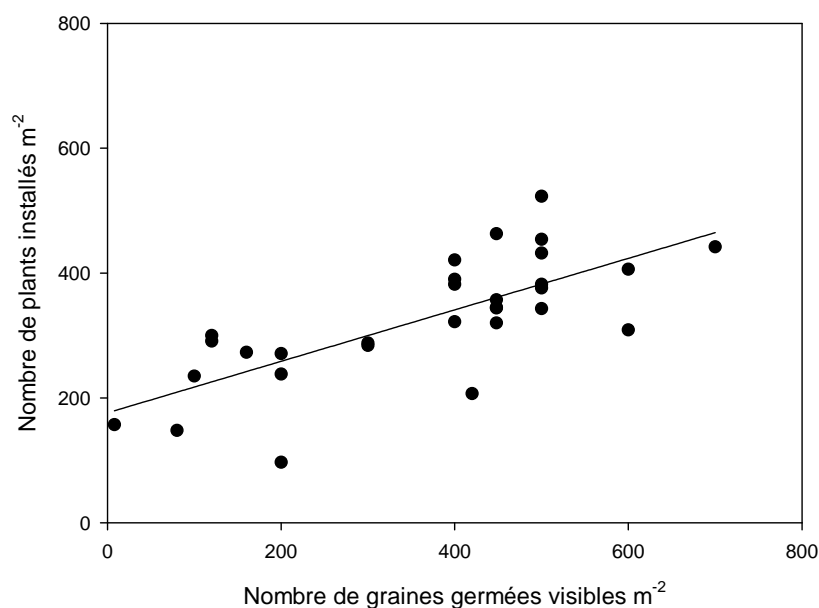


Figure 7 : Variation du nombre de plantules visibles entre la fin de la germination et la fin de la phase d'installation des peuplements ($R^2 = 0.55$).

La figure 7 permet d'observer l'évolution du nombre de plantules visibles entre les stades de fin germination et fin d'installation des peuplements. Une relation linéaire existe entre les deux variables ($R^2=0.55$), dont la pente est inférieure à celle de la 1^{ère} diagonale. Dans le cas « enfouissement fort et réversible », le peuplement s'établit de façon significative à partir de plantules dont les feuilles émergent après une germination en situation enfouie. Parmi les parcelles du type « enfouissement partiel », la plupart des nombres de plants m^{-2} sont établis dès le stade de germination avec toutefois une mortalité tardive remarquable pour 4 parcelles (n°19, 39, 46 et 48) sur lesquelles pourtant des à-sec ont été réalisés.

Diagnostic sur les facteurs responsables de l'enfouissement

A partir des références établies par C. Durr (1984), complétées des informations recueillies sur l'impact de la gestion de la lame d'eau, il est possible d'avancer un « modèle estimatif des risques encourus par un producteur » permettant d'évaluer les risques qu'encourt un producteur sur l'enfouissement des semences. A l'issue de la préparation du sol, le producteur est en présence d'un état de surface que C. Durr (1984) estime susceptible à l'enfouissement des graines quand le diamètre des mottes dominantes excède 2 cm. On a vu qu'en situation de semis précoce, une pratique de lame haute au moment de la germination accélère le développement des feuilles et agit donc sur le délai d'accès de la plante à l'autotrophie (photosynthèse) mais n'influe pas sur la durée de la phase de germination. Favorable en ce qui concerne la vitesse de développement de la plante, une lame haute au moment de la germination augmente par contre la susceptibilité à l'enfouissement des graines par effet mécanique sur la cohésion des mottes. Pour réduire le laps de temps durant lequel la graine est vulnérable à l'enfouissement, le producteur peut toutefois agir à travers la date de semis. Les observations réalisées sur les quelques parcelles concernées confirment l'expertise des producteurs (JC Mouret, communication

personnelle) sur la prégermination des semences qu'il conviendrait plutôt de réserver aux situations de température de l'air assez chaude.

A partir de ces références, il est intéressant de tester le caractère prédictif des facteurs de risque identifiés sur le taux d'enfouissement des graines. Dans le tableau 4, l'enfouissement « fort » correspond aux parcelles du type EFI, l'enfouissement « partiel » correspond aux types EFR et EP regroupés. Les facteurs explicatifs sont annotés en fonction du risque qu'ils représentent en regard de l'enfouissement, 0 si le risque est faible et 1 s'il est fort. L'état de surface, est divisé en 2 classes relatives au diamètre des mottes dominantes : 0 quand $d \leq 2$ cm et 1 quand $d > 2$ cm. Pour la hauteur de lame, B représente le risque faible (BB et BH) et H le risque fort. Pour le vent enfin, le classement se réfère aux accidents violents du 30/4 et des 17 et 19/4 (Annexe II2). Les parcelles n'ayant pas été soumises à ces épisodes de vent violent durant la phase de germination sont considérées à risque faible, les autres à risque fort.

Tableau 4 : test du caractère prédictif du diamètre des mottes dominantes, du type de gestion de la lame, du vent et de leur interaction sur l'enfouissement des graines

n° parcelle	Enfouissement	Mottes	Ecart Mottes	Lame	Ecart Mottes x Lame	Vent	Ecart Mottes x Lame x Vent
15	Fort	1		1		1	
16	Fort	1		1		1	
17	Fort	1		1		1	
23	Fort	1		0		1	
30	Fort	1		1		1	
36	Fort	1		0		1	
40	Fort	1		1		1	
41	Fort	1		1		0	
42	Fort	1		0		1	
50	Fort	1		0		1	
8	Partiel	0		0		1	
11	Partiel	0		1		1	
12	Partiel	0		1		1	
18	Partiel	1		0		1	
19	Partiel	0		0		1	
21	Partiel	1		0		1	
22	Partiel	1		0		1	
26	Partiel	1		1		0	
32	Partiel	1		0		1	
34	Partiel	0		1		1	
35	Partiel	0		0		1	
37	Partiel	1		1		1	
38	Partiel	0		1		0	
39	Partiel	1		0		1	
43	Partiel	1		0		1	
44	Partiel	0		0		0	
45	Partiel	1		0		0	
46	Partiel	0		0		1	
47	Partiel	1		0		0	
48	Partiel	0		0		0	
49	Partiel	0		1		0	
52	Partiel	0		1		1	

Dans ce tableau, on observe que les cas de fort enfouissement correspondent systématiquement à des diamètres de mottes dominantes supérieurs à 2cm. Ce facteur n'est toutefois pas suffisant pour expliquer les résultats en matière d'enfouissement et 10 cas présentent un enfouissement partiel avec des tailles de mottes supérieures à 2 cm (colonne « écart Mottes », cases colorées en beige). Si l'on croise la taille des motte avec la gestion de la lame, on constate que parmi ces 10 parcelles 8 ont été conduites avec une lame basse durant la germination. Sur les deux parcelles restantes (colonne « écart MottesxLame »), on constate que la germination du n°26 s'est déroulée en situation de risque faible vis-à-vis du vent (Annexe II₂) et seul le comportement observé sur la parcelle n°37 reste inexpliqué par la conjonction des risques (resemis ?).

2.2.2. Mortalité et état de surface

Sur la figure 5, on observe d'une part que la réalisation de la germination en condition d'enfouissement n'entraîne pas systématiquement la mortalité de l'ensemble des plantules et d'autre part que sur certaines parcelles des mortalités tardives s'observent lors du développement et de la croissance foliaire. L'effectif disponible en 2001 ne permettent pas d'analyser les causes de mortalité. Toutefois des enseignements peuvent être tirés de l'ensemble du dispositif complet et des années 1992, 1993 et 2001 pour lesquelles l'état de surface peut être relié au taux d'installation sur un effectif de 126 parcelles.

Pour l'analyse deux hypothèses de causalité ont été testées, en relation d'une part avec la porosité (disponibilité de l'oxygène dans le sol) et d'autre part avec l'activité des micro-organismes pour la consommation de l'oxygène du milieu sol-lame. La teneur en argile et la réalisation ou non du labour ont été choisies comme variables relatives à la porosité et le taux de débris de récolte présents en surface, la teneur en matière organique du sol (MO) et l'apport ou non d'engrais de fond ont été supposées actives sur le développement des micro-organismes. Le tableau 5a montre les classes de variables utilisées. Sur le tableau 5b, les variables explicatives ont été confrontées aux résultats en matière de taux d'installation de la culture.

Tableau 5 : Identification de facteurs explicatifs de la toxicité du milieu lors de la phase d'installation du peuplement

a : classes de valeur des variables

		valeur mini	valeur maxi	N
P_Inst1	faible	3.4	23.3	97
P_Inst2	moyen	23.6	38	96
P_Inst3	fort	38.3	84.5	99
Argile1	faible	4.8	19.9	96
Argile2	moyen	20	28.7	100
Argile3	fort	29.1	59.1	96
Pdebris1	faible	0	5	57
Pdebris2	moyen	6	12	35
Pdebris3	fort	15	40	30
MO1	faible	1.08	2.29	95
MO2	moyen	2.30	2.99	103
MO3	fort	3.00	11.57	94

b : distribution des classes de variables explicatives par classe de taux d'installation

Porosité			
	P_insta1	P_insta2	P_insta3
Argile1	27	34	37
Argile2	35	39	29
Argile3	38	27	33
Labour	33	43	45
Non labour	67	57	55

Activité microbienne			
	P_insta1	P_insta2	P_insta3
P debris 1	34	39	68
P debris 2	29	39	18
P debris 3	37	22	15
MO1	32	34	31
MO2	31	38	37
MO3	37	28	31
sans N Fond	26	22	16
avec N Fond	74	78	84

Le Tableau 5b permet d'appréhender le lien entre une variable (colonne) et le taux d'installation (ligne). L'effet de la porosité, caractérisée ici notamment par le taux d'argile et le labour, apparaît clairement puisque le taux d'installation diminue avec la teneur en argile et s'améliore avec la réalisation d'un labour. Parmi les variables liées à l'activité des micro-organismes, le taux de débris et la MO, leur effet est défavorable au taux d'installation qui diminue avec le taux de débris et est plus faible pour un taux de MO élevé. Enfin, l'apport d'engrais de fond N favorise le taux d'installation de la culture.

2.3. ANALYSE DES PRATIQUES EN MATIERE DE TRAVAIL DU SOL

Les résultats présentés précédemment permettent d'assigner un objectif au travail du sol qui doit aboutir à un état de surface présentant peu de débris de récolte en surface et dont le diamètre des mottes dominantes n'excède pas 2 cm. L'objectif de ce paragraphe est d'identifier l'effet des pratiques sur la réalisation de cet objectif.

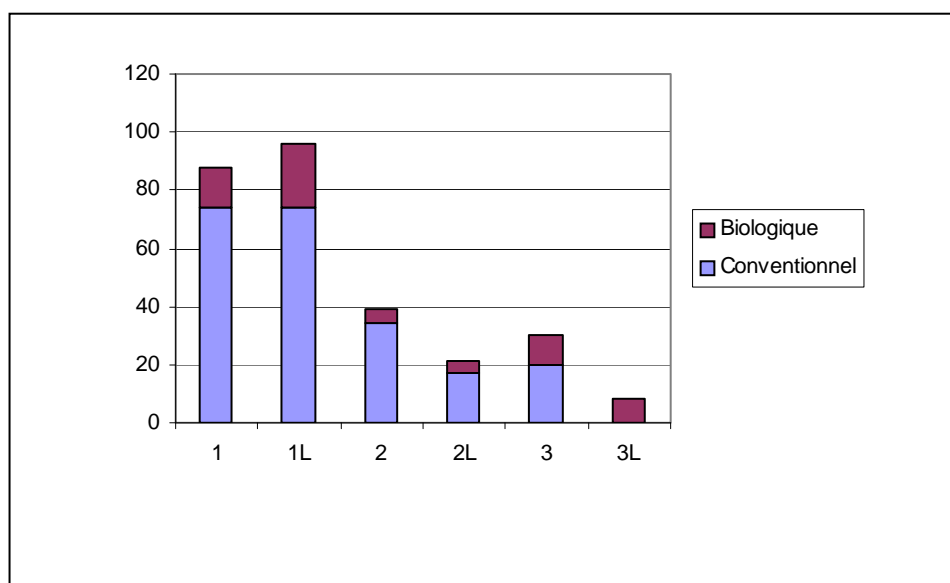
2.3.1. Variabilité de pratiques

Séquences de travail

Dans les processus de fragmentation des agrégats, l'effet mécanique des outils n'est pas le seul facteur impliqué et on connaît en particulier l'effet du gel et surtout, dans les conditions climatiques Camarguaises, de l'alternance des phases d'humectation et de dessiccation. Ces mécanismes de physique du sol s'expriment dans la durée et le temps est un élément incontournable de la caractérisation des pratiques. Trois « périodes » de réalisation des travaux ont donc été distinguées, la fin de l'été et l'automne de l'année précédente pour l'exposition à l'air la plus longue (désignée par 1), un mois avant semis pour l'exposition à l'air la plus courte (désignée par 3) et une période intermédiaire entre les deux (désignée par 2). Dans l'analyse réalisée, les

pratiques sont caractérisées par des séquences de passage dont la terminologie est signifiante à la fois vis-à-vis du type de travail et de la période de réalisation. Dans la figure 8, la classe signalée par le chiffre de période seule signale la réalisation d'une ou plusieurs interventions culturales dont l'objet est à mettre en relation avec la période de réalisation entre déchaumage, reprise de labour ou préparation du lit de semence. L'association du chiffre de période avec la lettre L signale la réalisation d'un labour. La figure 8 donne l'effectif des parcelles par séquence de travail du sol entre modes de production conventionnel et agriculture biologique (a) et entre appartenance de la parcelle à une exploitation céréalière ou mixte céréale-élevage.

a



b

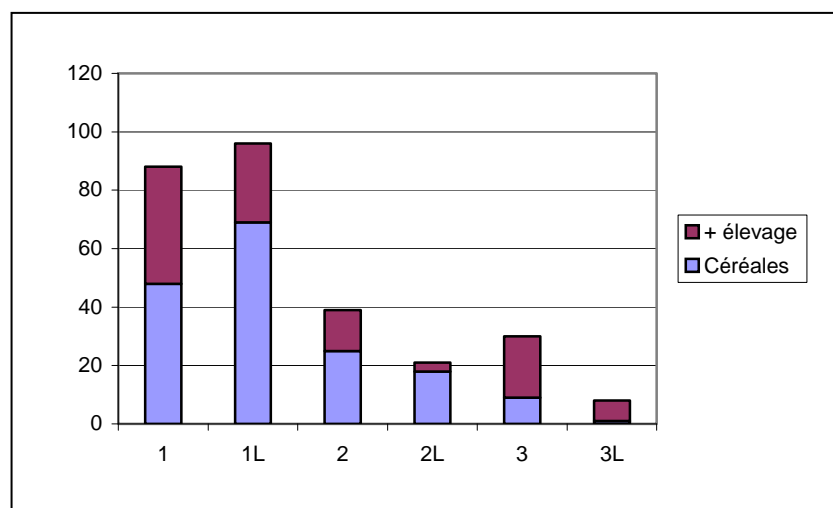


Figure 8 : séquences de travail du sol adoptées par les producteurs Camarguais selon le mode de production (a) et le type d'exploitation (b).

Les cas les plus fréquemment observés en Camargue correspondent à une intervention culturale dès l'automne de l'année précédant la mise en culture. Sur ces cas, le labour n'est pas toujours réalisé. L'effectif du labour de printemps, nettement

inférieur à celui des cas de déchaumages réalisés à l'automne signale une proportion non négligeable de parcelles n'ayant pas reçu de labour. Quelques cas de préparations tardives sans interventions après la récolte du précédent sont à signaler. Il n'y a apparemment pas de comportement particulier associé au mode de production ou au type d'exploitation.

Nombre d'outils utilisés pour la préparation du sol

En raison du lien étroit entre le coût du poste « travail du sol » et le nombre d'outils utilisés (proche du nombre de passages à quelques exceptions près), il est intéressant de situer le travail du sol sur une échelle d'intensification de la production. La quantité d'azote épandue durant le cycle de culture est en général bien corrélée avec l'objectif de rendement. Dans la figure 9, ce paramètre est utilisé comme indicateur du niveau d'intensification. Alors qu'en moyenne les quantités d'éléments P et K apportés et le nombre de produits phytosanitaires (tous traitements confondus) appliqués au cours du cycle de culture augmentent de façon proportionnelle à la quantité d'azote apportée, on constate que le nombre moyen d'outils passés pour la préparation du sol est constant, quel que soit l'objectif de production recherché par l'agriculteur (Figure 9).

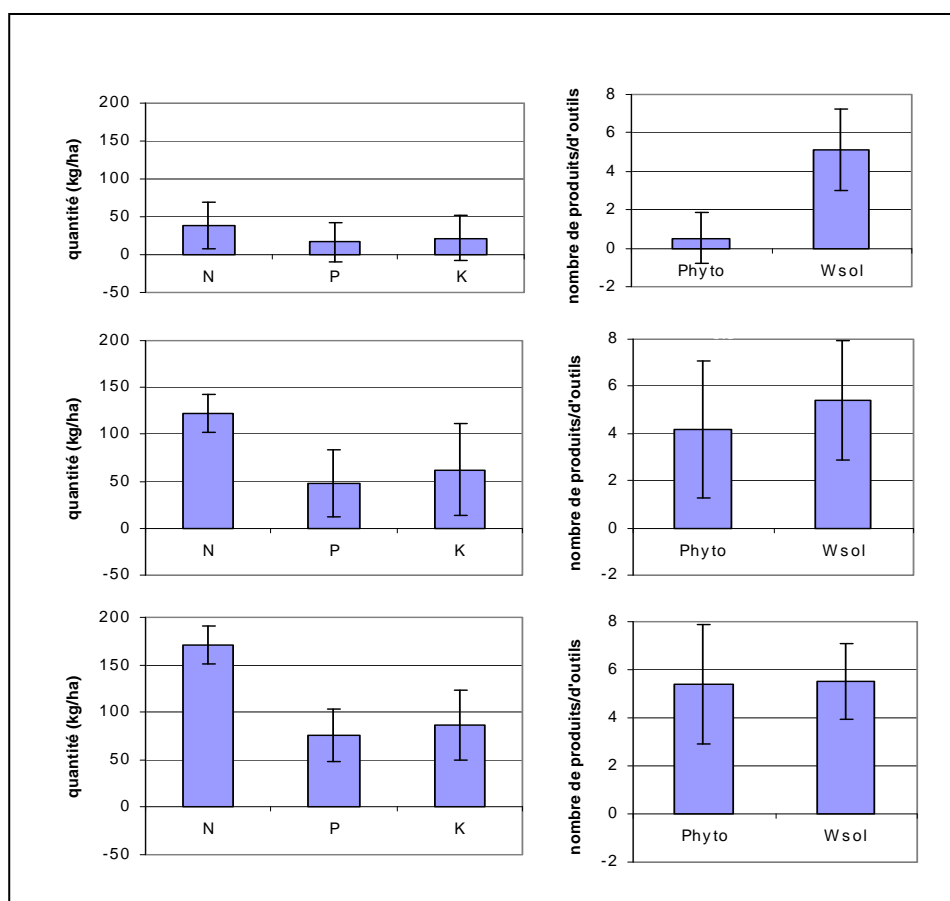


Figure 9 : quantités d'éléments PK, nombre de produits phytosanitaires et d'outils mis en œuvre pour la préparation du sol selon la quantité d'azote apportée, faible (a), moyenne (b) et forte (c).

Pour compléter le constat d'indépendance du nombre d'outils vis-à-vis de l'objectif de production, il est intéressant de s'intéresser au nombre de passages moyen mis en œuvre selon le mode de production et le type d'exploitation. Les résultats de l'analyse statistique réalisée montrent que le nombre moyen d'outils mis en œuvre dans les exploitations exclusivement céréalières (5,6) est significativement supérieur à celui mis en œuvre dans les exploitations mixtes céréale-élevage (5,0). Sous réserve des remarques faites dans la partie méthodologie sur la sur-représentation de certains producteurs « bio » dans le dispositif, on observe également que le nombre d'outils mis en œuvre en agriculture biologique (6,0) est sensiblement, mais de façon significative, supérieur à celui des parcelles cultivées en conventionnel (5,2).

2.3.2. Evaluation des pratiques

La qualité du travail du sol dépend d'un certain nombre de paramètres qui ne sont pas tous disponibles dans la base de données. Ainsi l'état hydrique du sol n'est pas connu or c'est une composante essentielle déterminant à la fois le degré de compaction du sol en profondeur et la compacité des agrégats générés par le labour.

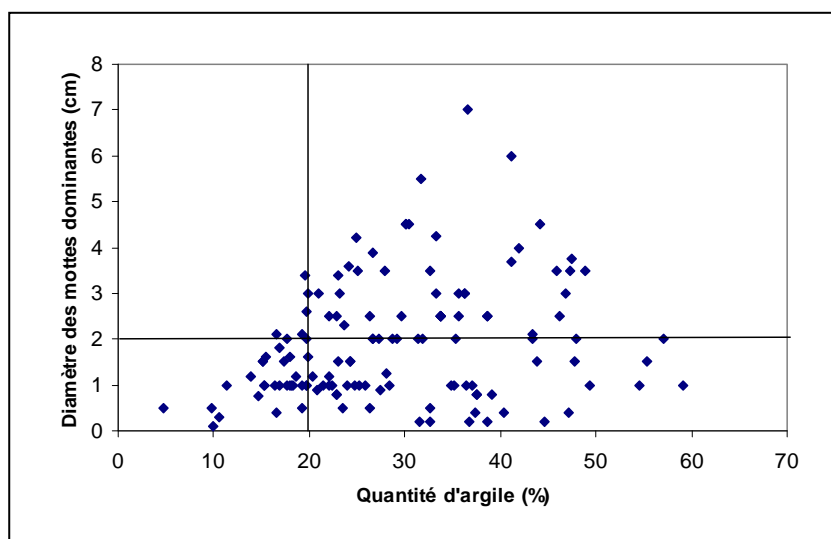
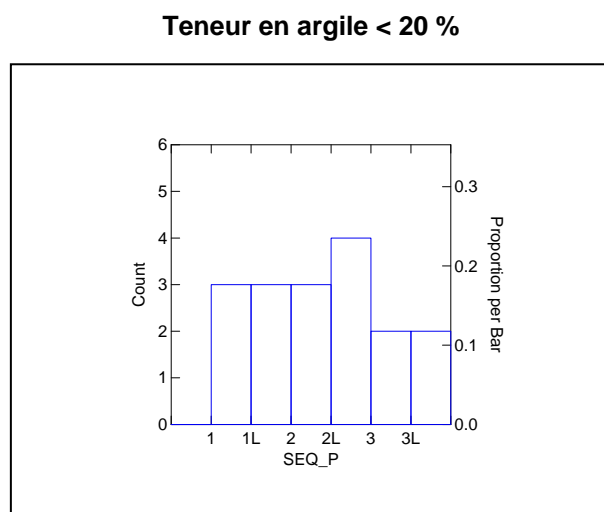
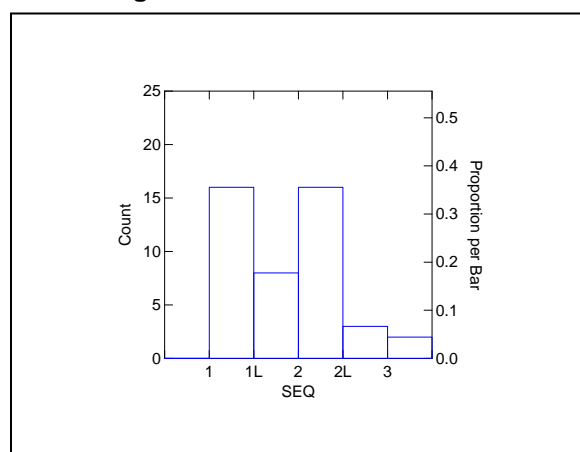


Figure 10 : relation entre la taille moyenne des mottes dominantes de l'horizon de surface et la teneur en argile du sol

Sur la figure 10, le taille des mottes dominantes est représentée en fonction de la teneur en argile du sol pour les 126 situations de 1992, 1993 et 2001. Sur cette figure, il apparaît clairement qu'en deçà de 20 % d'argile (% Ag), on n'observe aucun diamètre de mottes supérieur à 2cm. Au-delà de 20% par contre on observe une dispersion qui apparaît proportionnelle à la teneur en argile. Au-delà de 20 % d'argile, l'occurrence de diamètres de mottes supérieur à 2 cm est donc probable et il est intéressant de comparer les techniques ayant été mises en œuvre pour atteindre ou non l'objectif de diamètre inférieur ou égal à 2cm.



Teneur argile > 20% et d mottes < 2cm



Teneur argile > 20% et d mottes > 2cm

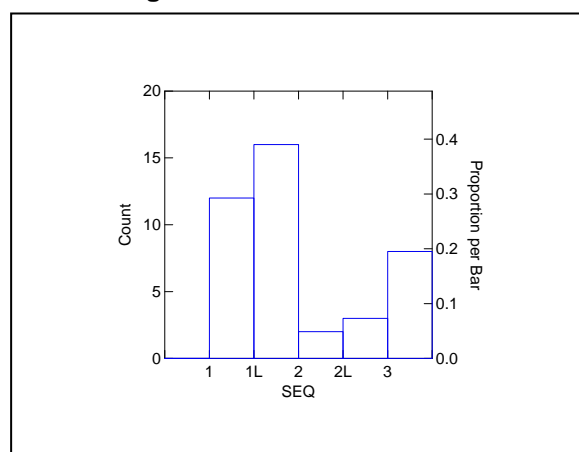


Figure 11 : séquences de travail mises en œuvre en relation avec la teneur d'argile du sol et l'atteinte ou non d'un objectif de diamètre des mottes dominantes inférieur ou égal à 2cm.

La figure 11 montre les séquences de travail du sol mises en œuvre en relation avec la teneur d'argile du sol et l'atteinte ou non d'un objectif de diamètre des mottes dominantes inférieur ou égal à 2cm. Pour des teneurs en argile inférieures à 20% qui, a priori, ne posent pas de problème vis-à-vis du diamètre des mottes dominantes, on constate la réalisation du labour sur 9 des 25 parcelles concernées avec un nombre de passages limité à 3 sur 11 d'entre elles. Pour les parcelles dont la teneur en argile est supérieure à 20%, il est surprenant d'observer que les diamètres des mottes dominantes inférieurs à 2 cm ont été obtenus grâce à des séquences sans labour. A l'inverse, une grande part des parcelles dont le diamètre des mottes dominantes dépasse 2 cm a reçu un labour à l'automne. Pour interpréter l'absence de lien entre pratiques (séquence et nombre d'outils) et état de surface résultant, on peut avancer l'hypothèse de la prégnance des conditions spécifiques de teneur en eau et de compacité du sol dans le résultat du travail du sol (non mesuré).

Sur l'ensemble des 126 parcelles concernées, le fort pourcentage de résidus ne correspond pas à un mode de gestion des résidus particulier. Les résidus de récolte enfouis concernent 20 parcelles. Certaines de ces parcelles se retrouvent dans les 30 parcelles présentant un fort pourcentage de débris en surface (Tableau 5b), 2 blé, 4 riz et 1 soja mais la plupart des parcelles concernées ont pour précédent, en conditions de résidus exportés, 1 luzerne et 22 riz aux pailles brûlées.

Sur la figure 12, le pourcentage de débris de récolte observé sur le lit de semence avant la mise en eau est exprimé en fonction du diamètre des mottes dominantes, considéré (en première approximation) comme un indicateur de qualité de la réalisation du travail du sol.

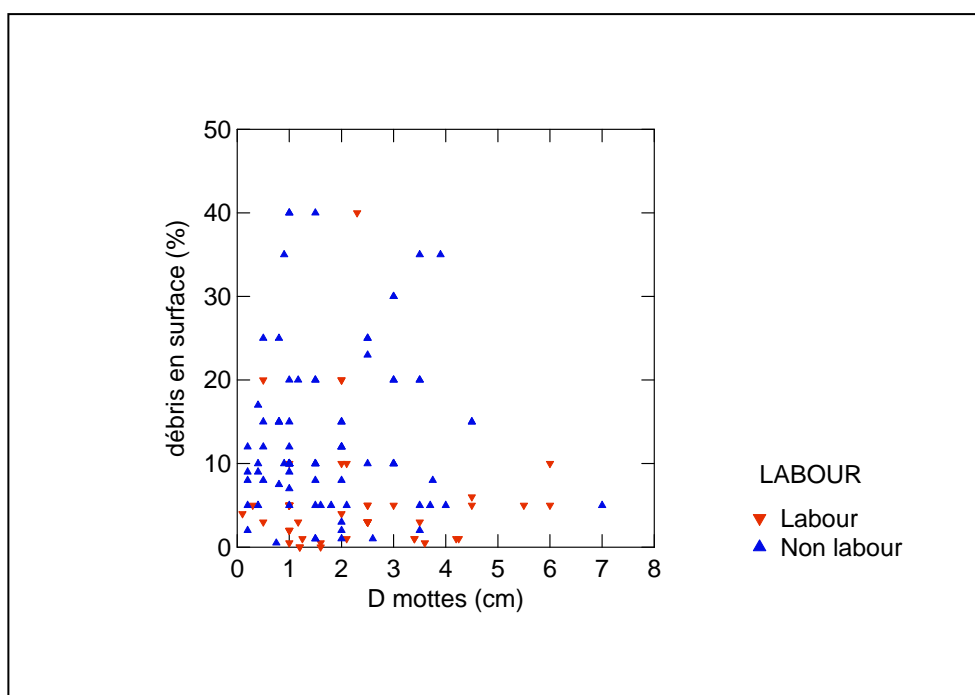


Figure 12 : variabilité du taux de présence de résidus de récolte en surface du lit de semence en fonction de la taille des mottes.

Bien qu'a priori moins concernés par la présence de résidus en surface, les cas de précédent riz avec paille brûlée (pratique la plus commune en Camargue) permettent de confirmer l'intérêt du labour par rapport à la présence de résidus de récolte en surface. Sur l'effectif de 74 individus représentés, le labour permet d'abaisser significativement le pourcentage de débris observés en surface de 12.2 à 6.5 %.

3. CONCLUSION

La difficulté de mettre en évidence un effet du travail du sol et même un effet de l'état de surface généré par le travail du sol signale l'importante réactivité des producteurs par rapport à une situation donnée. Ainsi les résultats de l'étude montrent que l'enfouissement des graines n'est pas un phénomène entièrement lié au diamètre dominant des mottes supérieur à 2cm, mais dépend également de la gestion de la lame d'eau et de façon indirecte de la date de semis au travers de la durée de la germination. De la même manière pour la mortalité des graines et plantules en cours d'installation, on peut avancer l'hypothèse que la réalisation d'à-secs contrebalance les facteurs susceptibles d'entraîner l'anoxie du milieu (non étudié).

Vis-à-vis de la charge que représente le travail du sol, l'étude montre que le nombre d'outils mis en œuvre pour le travail du sol est indépendant de l'objectif de productivité recherché. Ce constat est renforcé par la mise en évidence d'une augmentation sensible du nombre d'outils chez les producteurs « bio » par rapport aux producteurs en agriculture conventionnelle. Bien qu'une légère tendance s'observe concernant le type d'exploitation, les exploitations mixtes céréales-élevage mettant légèrement moins d'outils en œuvre en moyenne, on constate que le nombre d'outils varie peu autour de 5 outils quel que soit le mode de production et le type d'exploitation. En relation cette fois avec les caractéristiques permanentes du sol, il apparaît qu'un diamètre de mottes dominantes inférieur à 2cm peut être atteint avec seulement 2 ou 3 passages sur les parcelles à faible teneur en argile, sans qu'un labour ne soit nécessaire. Cependant, dès qu'on considère la proportion de résidus sur le sol, l'intérêt du labour devient évident.

En terme de réduction de la charge liée au travail du sol, on peut conclure de l'étude que l'approche ne peut être faite qu'au cas par cas selon les caractéristiques de la parcelle, permanentes comme la teneur en argile, mais également conjoncturelles en relation entre autres avec l'aptitude au ressuyage et la date de libération de la parcelle (du précédent cultural). Toutefois, en regard des conséquences du travail du sol sur le déroulement du cycle de culture, il semble que les producteurs considèrent le travail du sol comme un investissement. Le cas des producteurs « bio » qui mobilisent plus d'outils illustre bien le phénomène. En effet, au vu des résultats de l'étude, la qualité de l'état de surface autorise l'adoption de techniques particulières comme celle d'une lame haute vis-à-vis de la vitesse de développement des plantules et permet d'éviter les problèmes de maîtrise des adventices rencontrés en condition de faible densité de plants m^{-2} .

Grâce à l'approche système adoptée, l'étude a mis en évidence l'intérêt de considérer les techniques selon leur chronologie de mise en œuvre. Ainsi, les résultats obtenus suggèrent qu'il serait possible de construire un arbre de décision liant la date de semis, la gestion de la lame d'eau et la qualité de l'état de surface obtenu à l'issue des opérations de travail du sol pour l'établissement du nombre de plants m^{-2} . Pour construire un tel outil de décision, des travaux complémentaires doivent être menés sur l'estimation de la température de la lame d'eau en relation avec la température de l'air et la gestion de la hauteur d'eau de la lame d'une part (bilan d'énergie) et le lien entre la vitesse de développement des plantes et la mortalité. Par ailleurs, s'il apparaît possible d'éclairer l'effet des pratiques sur les mécanismes bio-physiques impliqués dans l'installation des peuplements, l'étude n'aborde pas les raisons du choix des agriculteurs en terme de pratiques, vraisemblablement liés à des caractéristiques spécifiques (perméabilité du sol terres

« neuves » inondées après plusieurs années de culture sèche) et/ou organisationnelles au niveau de l'exploitation agricole.

L'intérêt des dispositifs d'enquête agronomique, du type de celui présenté, a largement été montré dans le cadre de la compréhension des relations entre pratiques, mécanismes bio-physiques impliqués et fonctionnement de l'exploitation. Dans le cas de la Camargue où sur un espace circonscrit la recherche et le développement sont bien représentés, l'intérêt du dispositif mis en place par l'équipe de l'UMR innovation pourrait dépasser le cadre de l'exploitation agricole. En effet, alors que les études sociologiques réalisées ont montré une tendance à l'individualisme des producteurs, l'interprétation de l'effet des pratiques mises en œuvre et de leurs résultats pourrait servir à alimenter les processus d'apprentissage entre recherche et développement.

4. BIBLIOGRAPHIE

Barbier J.M., Conessa A.P., Mouret J.C., Nougaredes B., Stutterheim N. (1990). "Méthodes d'étude des facteurs et des conditions limitant les rendements d'une culture : application au cas du riz en Camargue." *Euroryza* 1: 15-26.

Barbier J.M., Mouret J.C. (1995). La Camargue. Une région de production avec des atouts mais aussi des contraintes. *in* Riz. Du débouché à la culture. ITCF CFR. 52p.

Don Scott H. M., Miller D.M., Renaud, F.G. (2003). Rice soils : physical and chemical characteristics and behavior (chapter 3.3) *in* Rice. Origin, History, Technology and Production. Hoboken, New Jersey, USA, John Wiley & Sons: 297-329.

Dürr C. (1984). Systèmes de culture et élaboration du rendement du riz (*Oryza Sativa* L.) en Camargue. Thèse de doctorat : 204p.

Glinski J., Stepniewski W. (1985). Soil aeration and its role for plants., CRC Press, Boca Raton, FL.

Howeler R.H., Bouldin D.R. (1971). "The diffusion and consumption of oxygen in submerged soils." *Soil Sci. Soc. Am. Proc* 35: 202-208.

Kar S., Ghildyal B.P. (1975). "Rice root growth in relation to size, quantity, and rigidity of pores." *Plant and soil* 43(3): 627-637.

Kordan H. (1976a). "Adventitious root initiation and growth in relation to oxygen supply in germination rice seedlings." *New Phytologist* 76: 81-86.

Kordan H. (1976b). "Normal pigment development in germinating rice seedlings is oxygen dependent." *Annals of botany* 40: 1329-1332.

Kordan H. (1977). "Coleoptile emergence in rice seedlings in different oxygen environments." *Annals of botany* 41: 1205-1209.

Leblanc J.M., Rancillac M., Pradet A. (1983). "Germination de la semence d'*Oryza sativa* L. variété "Cigalon" en stricte anoxie ; généralisation aux *Oryza* cultivés de ce caractère adaptatif." *Agronomie* 3 (3): 259-264.

Monnier G., Stengel P. (1982). La composition granulométrique des sols : un moyen de prévoir leur fertilité physique. *BTI* 370-372 : 503-511.

Mouret J.C., Barbier J.M., Pham V.C., Nougaredes B., Hammond R. (1993). Analyse comparée de deux modes d'implantation du riz en Camargue : semis et conduite de l'eau traditionnels, semis enfouis avec submersion retardée. Rapport d'étude INRA-SAD-LECSA CFR.

Mouret J.C., Conessa A., Barbier J.M. (1994). Enquête et suivi agronomiques de parcelles de blé dur et d'orge. Diagnostic sur les agrosystèmes céréaliers de la

Wilaya de Sidi-Bel-Abbes (Algérie). Séminaire INRA/ITGC 18 et 19 novembre 1994, Montpellier.

Mouret J.C., Hammond R. (2003). « Elaboration de références agronomiques pour la conduite de la culture du riz (*Oryza sativa* L.) à partir de l'analyse des facteurs de variabilité du rendement ». 3era Conferencia Internacional de Arroz de Clima Templado. 10-13 Marzo 2003. Punta del Este. Uruguay.

Ponnamperuma F. (1972). "The chemistry of submerged soils." *Advances in agronomy* 24: 29-96.

Puard M. (1997). Adaptation du riz aux contraintes du milieu camarguais. Rapport d'activité. Centre Français du Riz. Arles. 19p.

Tadano T., Yoshida S. (1978). Chemical changes in submerged soils and their effect on rice growth. *Soils and rice*. Los banos, IRRI: 350-398.

Turner F., Chen C.C., McCauley G. (1981). "Morphological development of rice seedling in water at controlled oxygen levels." *Agronomy Journal* 73: 566-570.

Wayne Smith C., Dilday R.H. (2003). *Rice. Origin, History, Technology and Production*. Hoboken, New Jersey, USA, John Wiley & Sons. 642p.

Yoshida S. (1981). *Fundamentals or rice crop science*. Los Banos, IRRI. 269p.

Yu T. (1985). *Physical chemistry of paddy soils*. Beijing, Springer-Verlag. 217p.

5. ANNEXES

ANNEXE I : Type de gestion de la hauteur de lame d'eau (cm) au cours du temps (JAS)

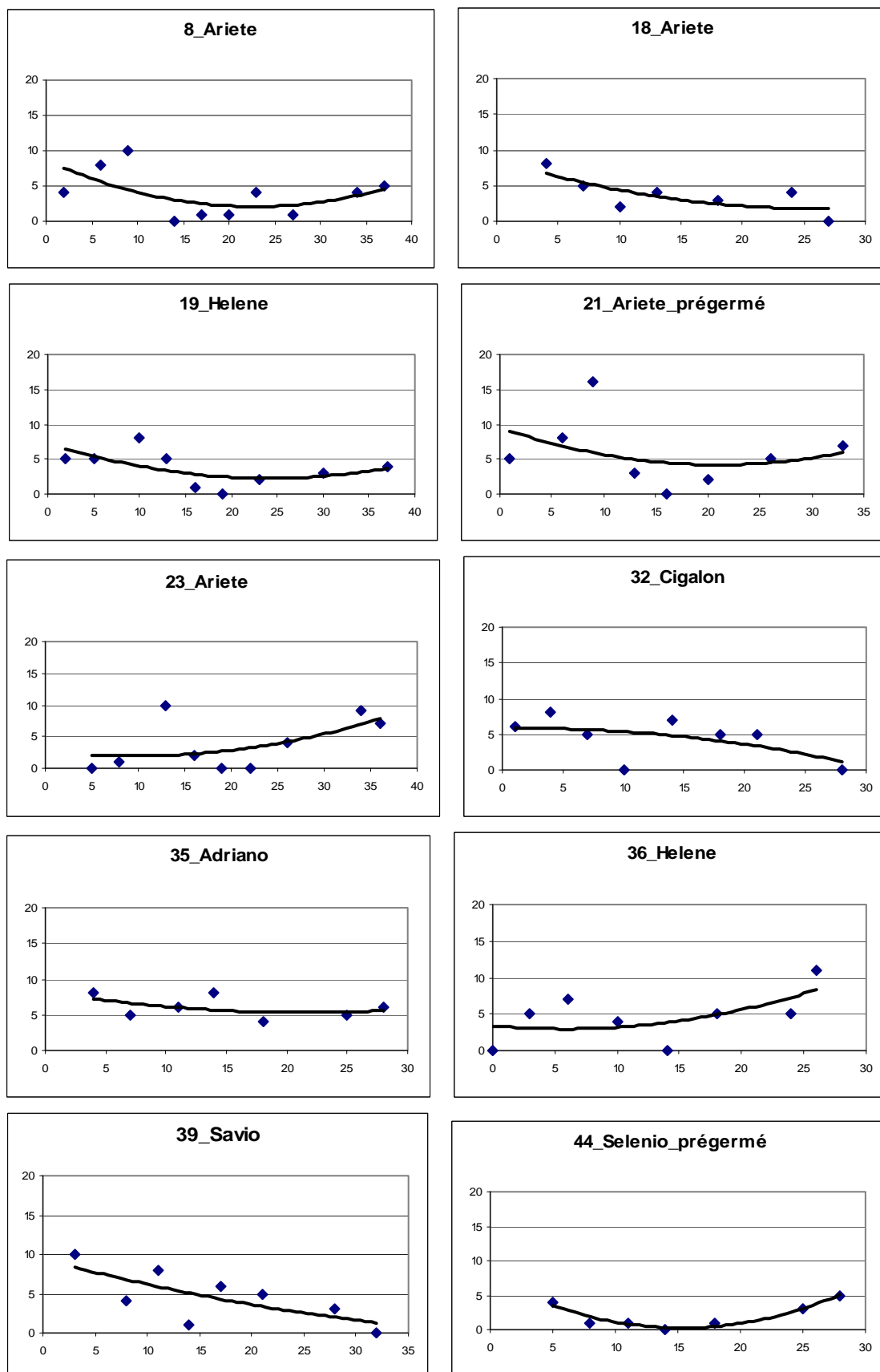
ANNEXE II : Dispositif 2001

ANNEXE III : Evolution du nombre de graines et plantules m⁻² visibles au cours du temps (JAS)

ANNEXE IV : Détail des outils mobilisés par les producteurs de riz en Camargue

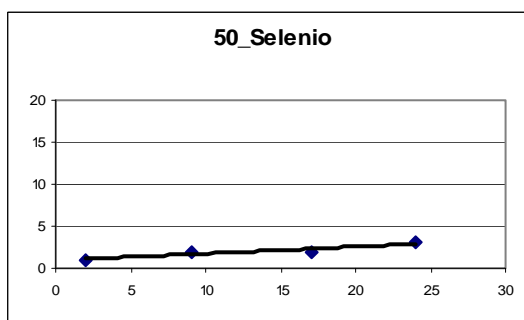
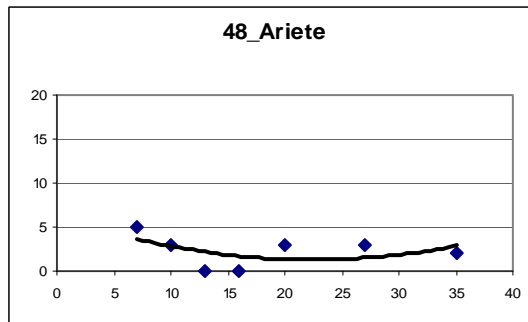
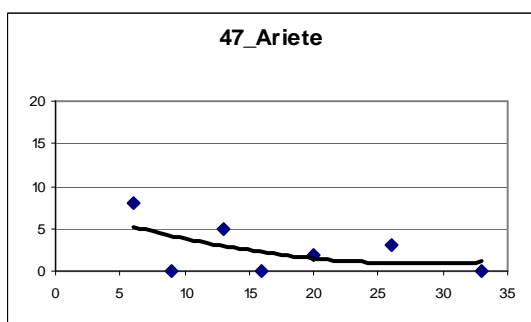
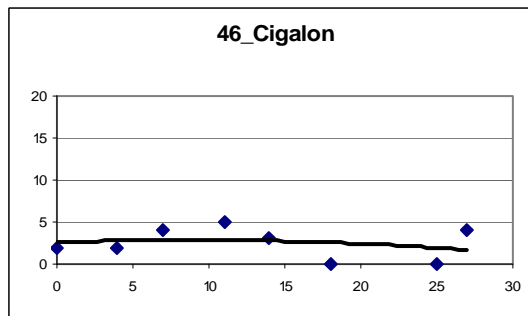
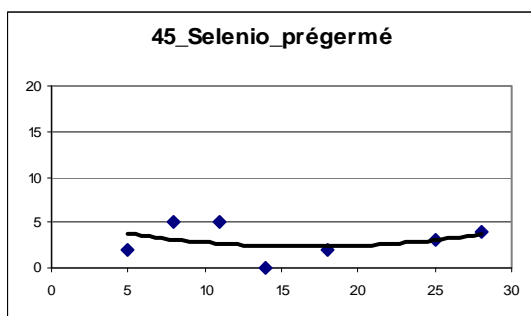
ANNEXE I : Type de gestion de la hauteur de lame d'eau (cm) au cours du temps (JAS)

Type BAS-BAS

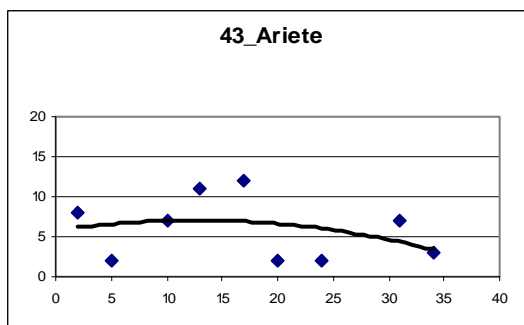
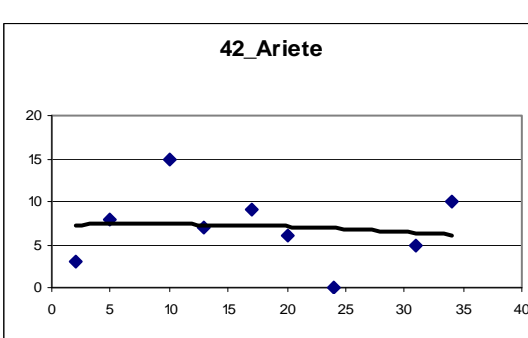
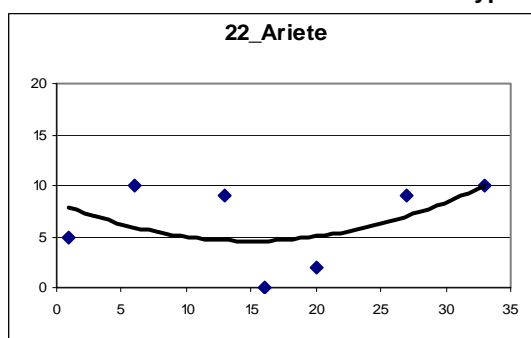


ANNEXE I (suite)

Type BAS-BAS (suite)

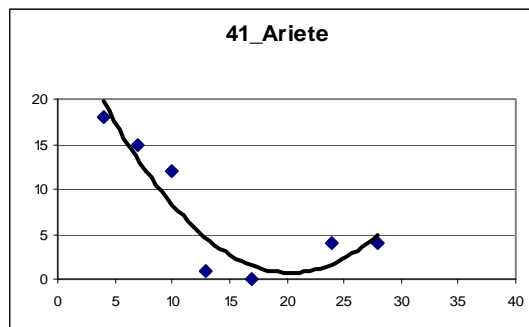
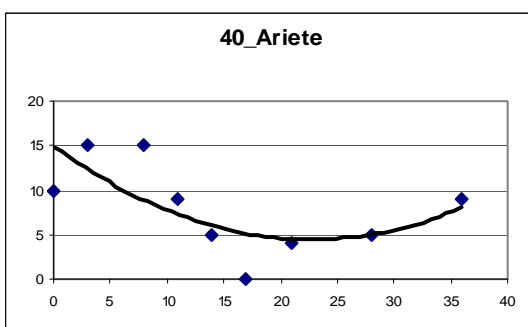
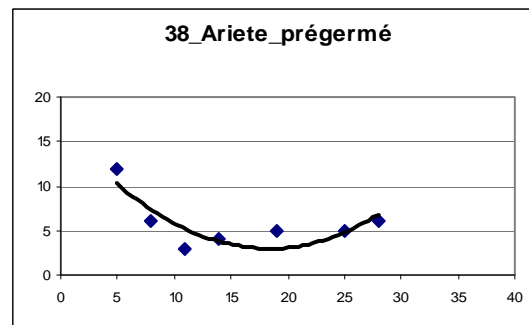
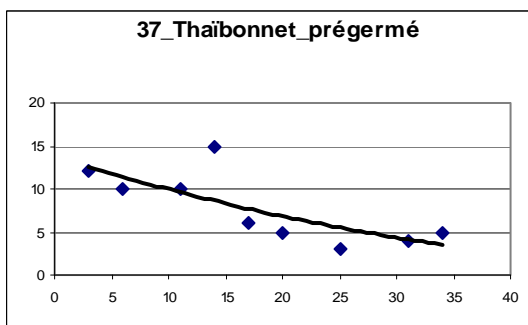
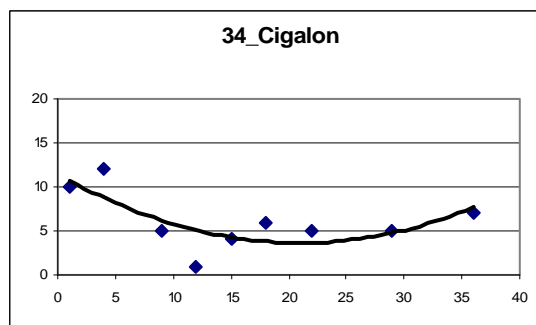
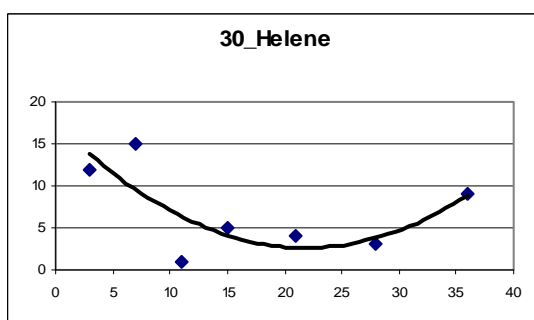
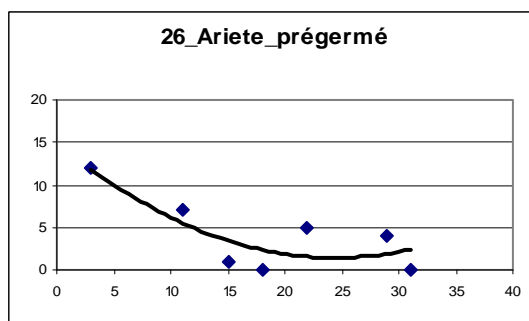
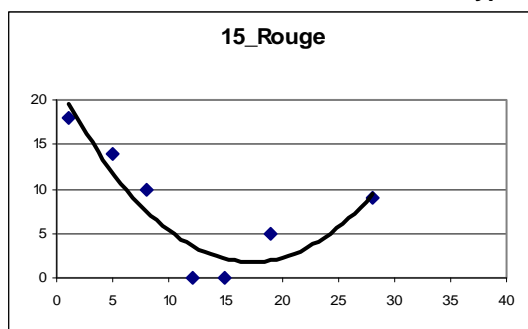


Type BAS-HAUT



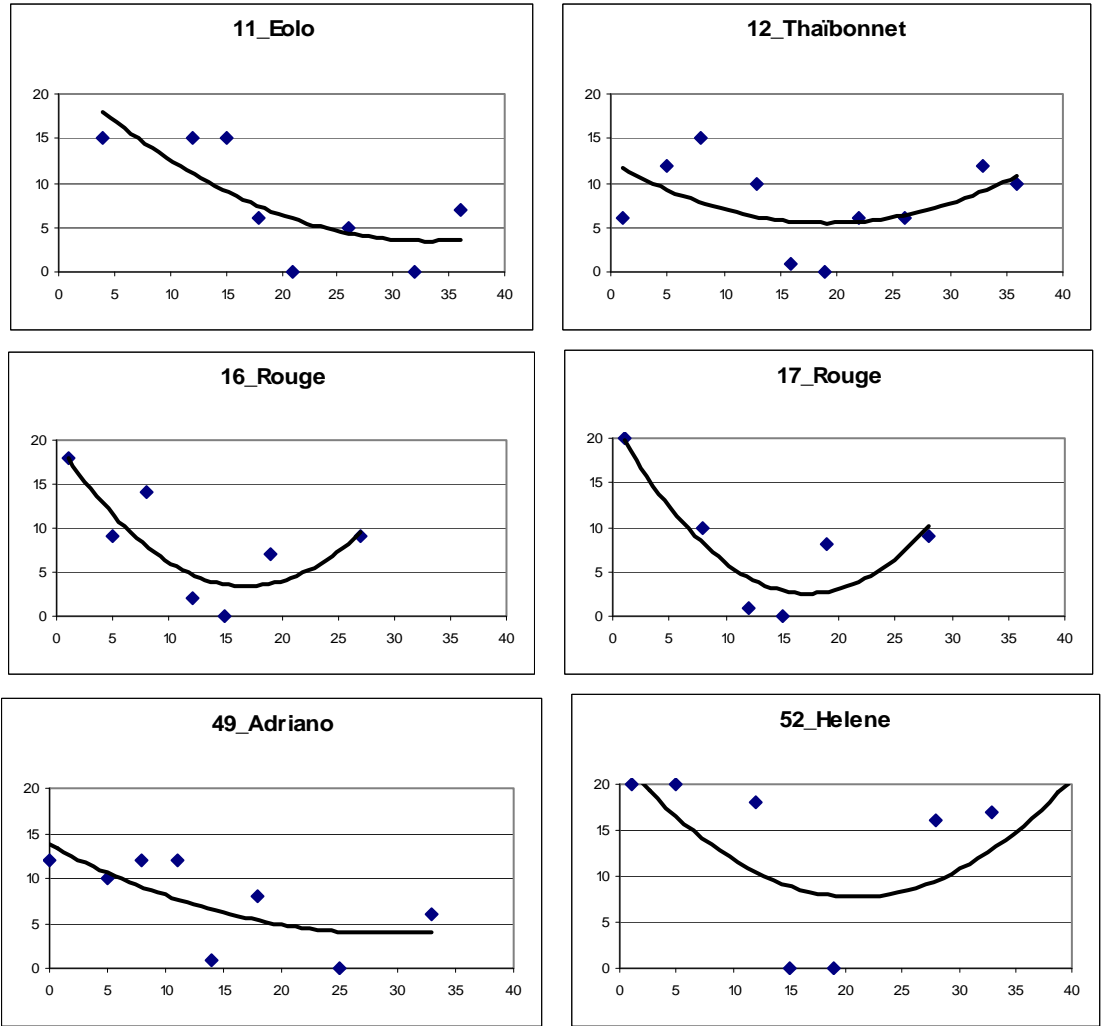
ANNEXE I (suite)

Type HAUT-BAS



ANNEXE I (suite)

Type HAUT-HAUT



ANNEXE II

II₁ : caractéristiques des parcelles suivies en 2001

Parcelles semées dans l'eau à la volée

N°	Argile (%)	Limons (%)	Précédent	Variété	Pré ger	Date Semis	Date Instal	G lame	Interv. 1	Interv. 2	Interv. 3
8	24.8	53	Riz	Ariete		24/4	31/5	BB	30/4 P	23/5 P	29/5 F
11	16.8	43.1	Riz	Eolo		26/4	1/6	HH	6/5 P	30/5 F	
12	20.4	47.3	Riz	Thaïbonnet		25/4	31/5	HH	23/5 P	30/5 F	
15	24.1	67.8	Riz	Rouge		10/5	7/6	HB			
16	24.9	68.5	Riz	Rouge		10/5	6/6	HH			
17	23.0	68.9	Riz	Rouge		10/5	7/6	HH			
18	41.1	55.5	Riz	Ariete		8/5	31/5	BB			
19	28.1	64.3	Riz	Hélène		28/4	4/6	BB	3/5 P	25/5 P	30/5 F
21	41.9	54.8	Riz	Ariete	O	2/5	4/6	BB	12/5 P	1/6 F	
22	48.8	46.8	Riz	Ariete		2/5	4/6	BH	12/5 P	1/6 F	
23	43.4	54.4	Riz	Ariete		25/4	31/5	BB	6/5 P	24/5 F	
26	19.6	45.8	Riz	Ariete	O	30/4	31/5	HB	3/5 P	30/5 P	
34	14.7	48.5	Riz	Selenio		29/4	4/6	HB	30/5 F		
35	18.6	60.4	Riz	Adriano		4/5	1/6	BB	16/5 P	1/6 F	
37	14.2	43	Luzerne	Thaïbonnet	O	27/4	31/5	HB	5/5 F	29/5 P	
38	26.6	67.5	Riz	Ariete	O	3/5	31/5	HB	30/5 P		
39	25.3	66	Riz	Savio		30/4	1/6	BB	5/5 P	24/5 P	
40	16.6	51.2	Riz	Ariete		30/4	5/6	HB	5/5 P	26/5 P	
41	33.3	60.3	Riz	Ariete		4/5	1/6	HB	8/5 P		
42	47.5	49.1	Luzerne	Ariete		28/4	1/6	BH			
43	41.1	56.1	Luzerne	Ariete		28/4	1/6	BH			
44	15.4	57.6	Luzerne	Selenio	O	3/5	31/5	BB			
45	19.3	61.9	Luzerne	Selenio	O	3/5	31/5	BB			
46	18	53.1	Riz	Cigalon		11/5	7/6	BB	21/5 P	7/6 F	
47	19.7	57.8	Luzerne	Ariete		2/5	4/6	BB	15/5 P		
48	22	55.6	Riz	Ariete		1/5	5/6	BB	4/5 P	30/5 P	
49	13.9	38.2	Riz	Adriano		3/5	5/6	HH	4/5 P	30/5 P	
50	11.9	18.5	Riz	Selenio		2/6	26/6	BB	15/6 F		
52	19.8	57.7	Luzerne	Hélène		10/5	7/6	HH			

Parcelles ayant un semis différent

N°	Argile (%)	Limons (%)	Précédent	Variété	Pré ger	Date Semis	Date Instal	G lame	Interv. 1	Particularité
36	14.2	43	Luzerne	Hélène		11/5	6/6	BB		Semis à sec
30	20	58.7	Luzerne	Hélène		10/5	11/6	HB		Semis à sec
32	24.6	52.5	Riz	Cigalon		7/5	5/6	BB	30/5 F	Semis à sec

Préger = O : utilisation de semences prégermées

Date Instal : date d'installation du peuplement (stade 4 feuilles environ)

Interv. : Intervention dans la parcelle entre la date de semis et la date d'installation

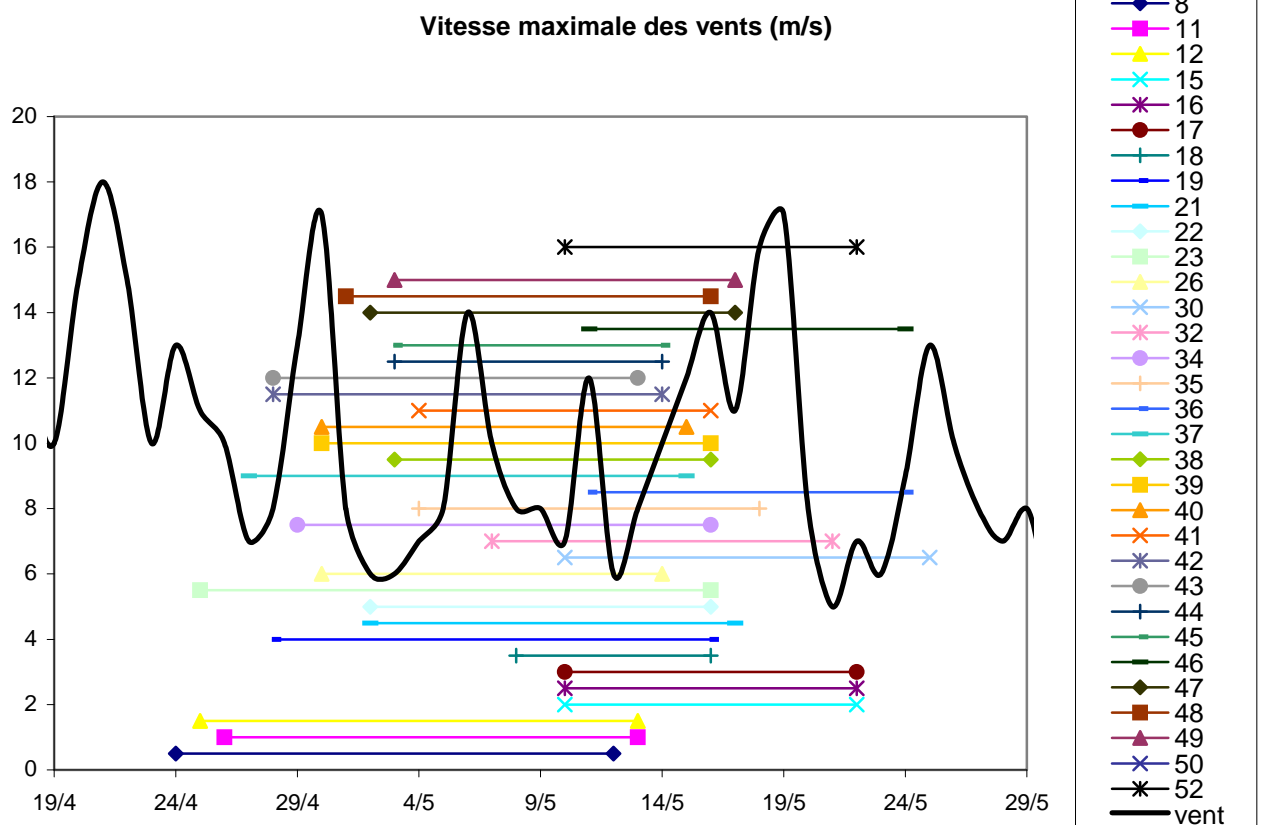
→ P = traitement phytosanitaire, F = fertilisation

G lame : type de gestion de la hauteur de la lame d'eau (H=haut, B=bas)

ANNEXE II (suite)

II₂ : occurrence des vents lors de la phase de germination

Dans la figure ci-dessous, la courbe noire indique la vitesse maximale des vents. Les segments de droite matérialisent la durée autres semis- apparition de la 1^{ère} feuille vraie du brin maître pour chacune des parcelles du dispositif AGROSYST en 2001.

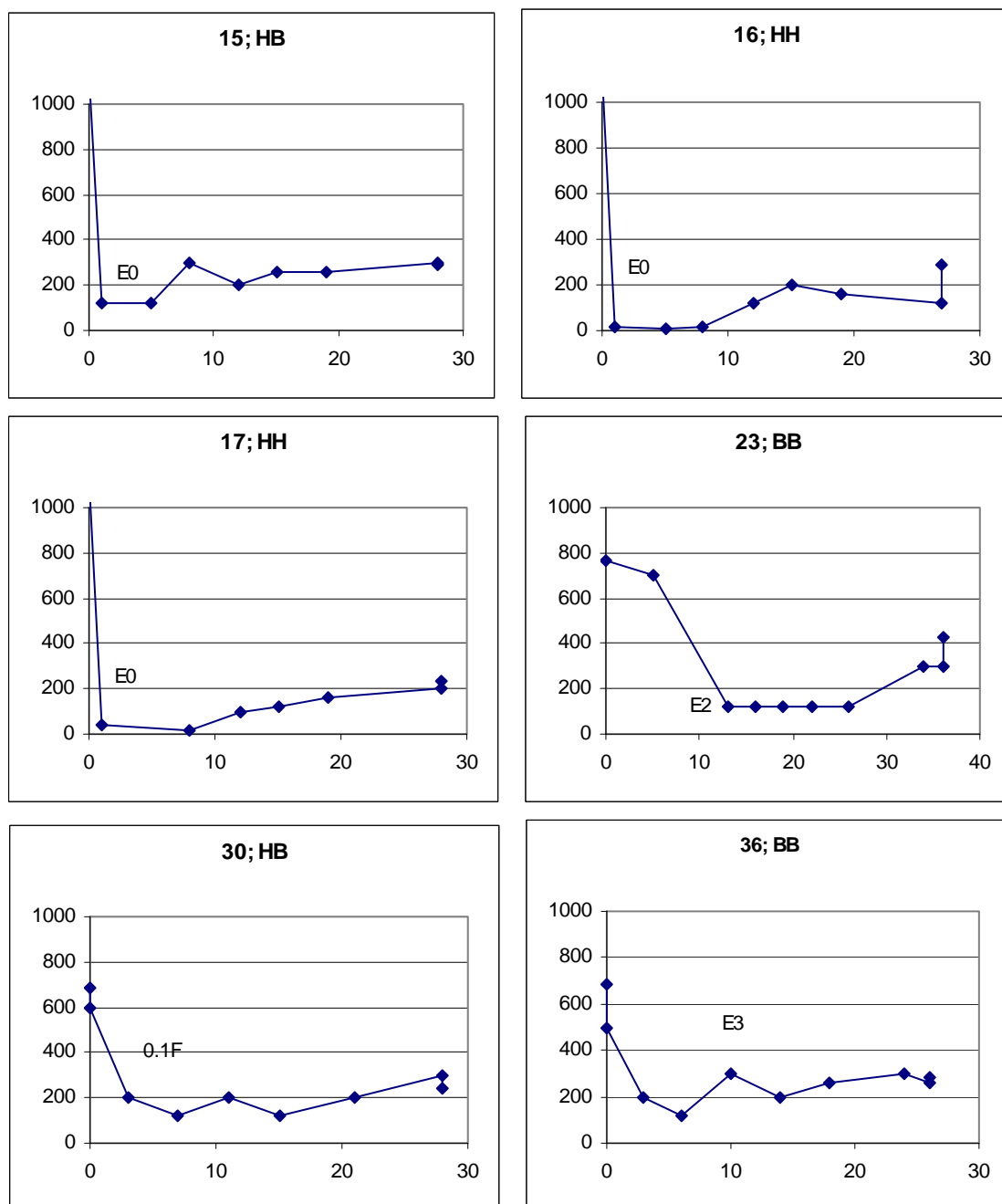


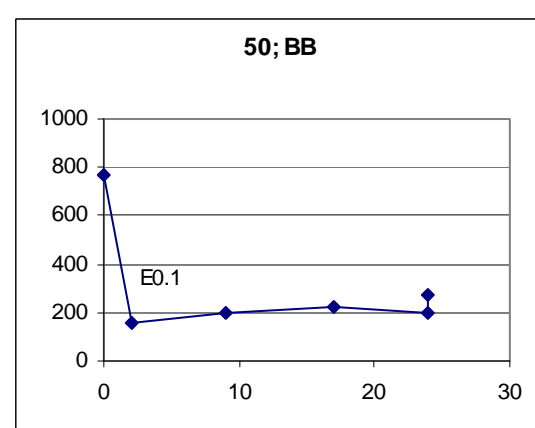
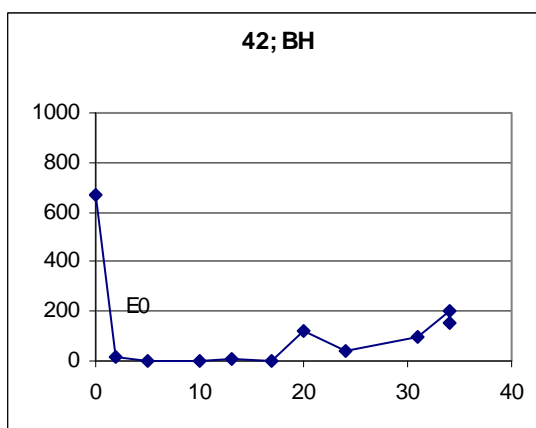
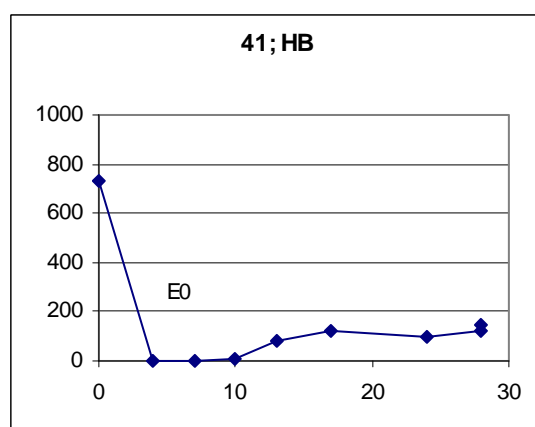
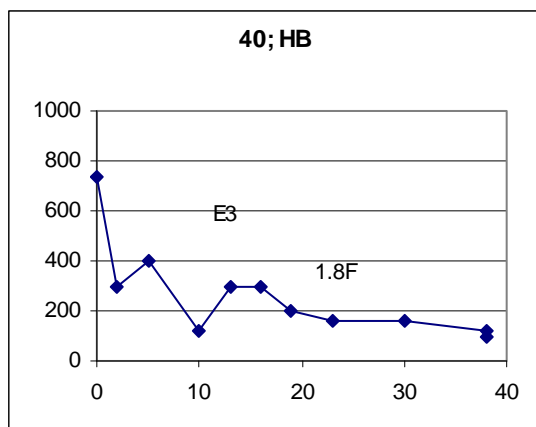
ANNEXE III :

Evolution du nombre de graines et plantules m⁻² visibles au cours du temps (JAS)

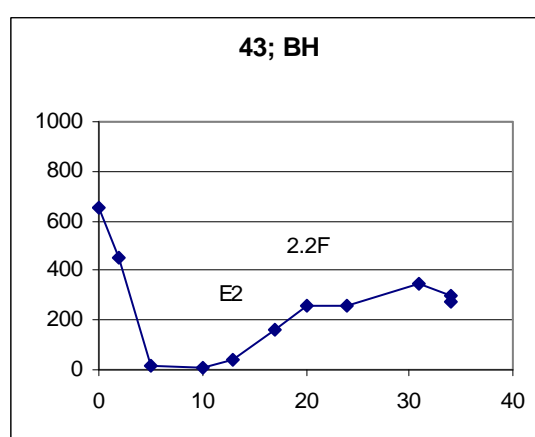
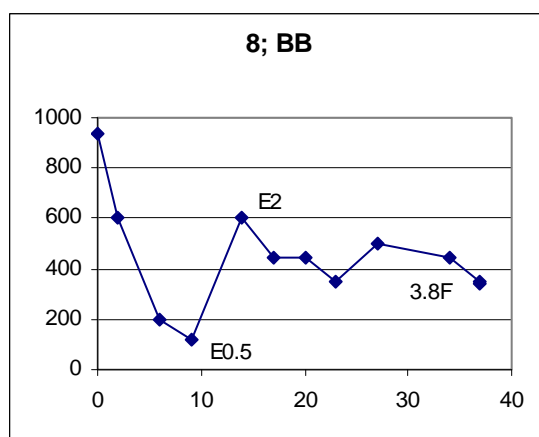
En : signale que la graine est en cours de germination ; n donnant la longueur du coleoptile
mF donne le nombre de feuilles du brin maître

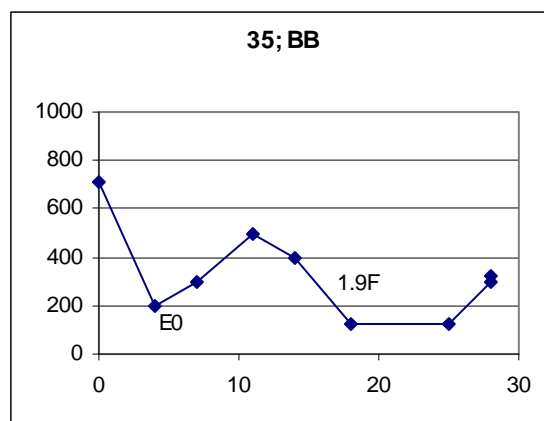
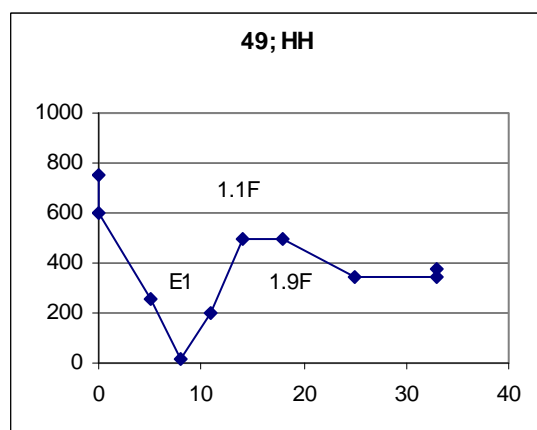
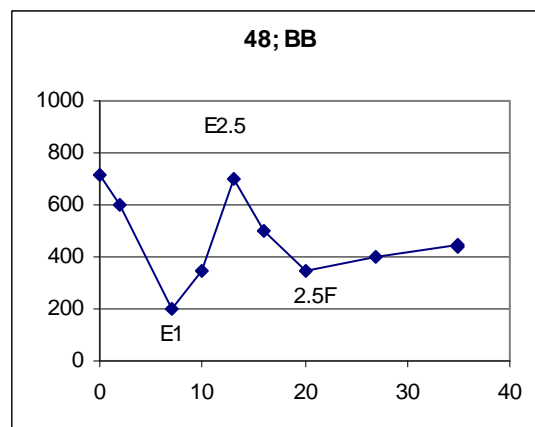
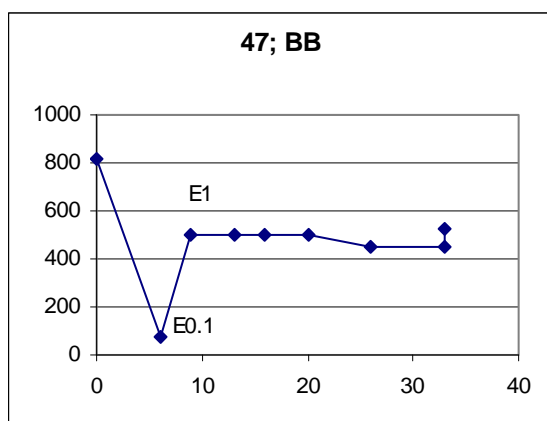
Enfouissement important irréversible



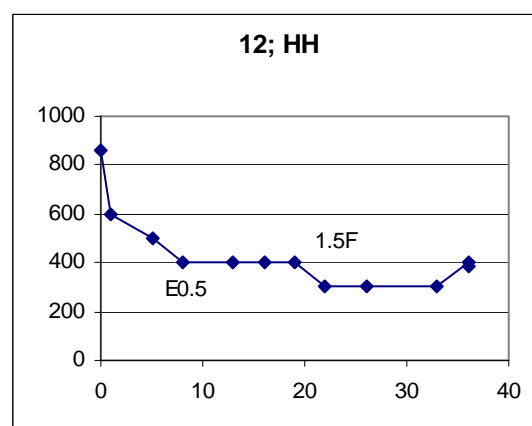
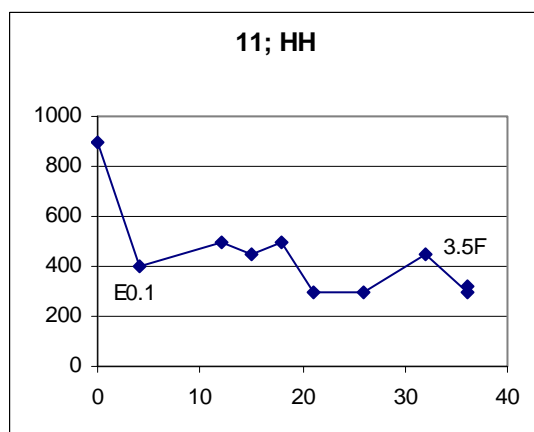


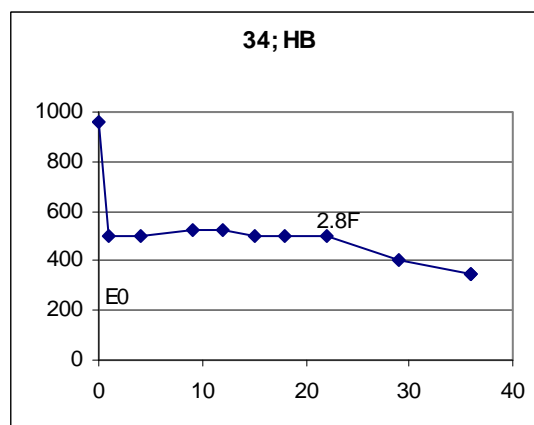
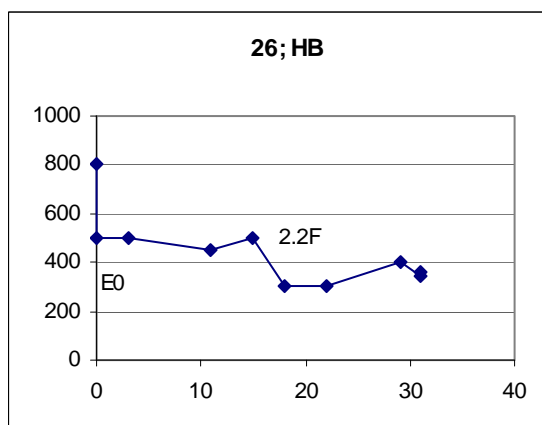
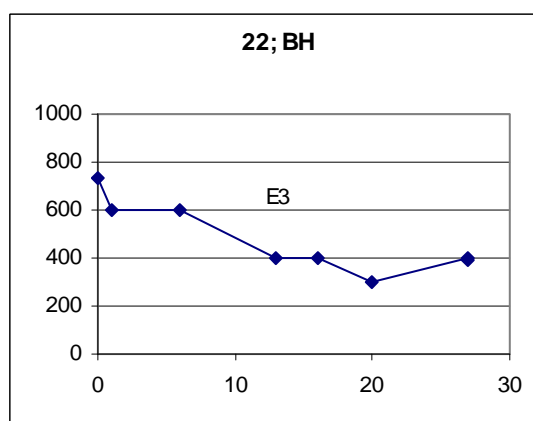
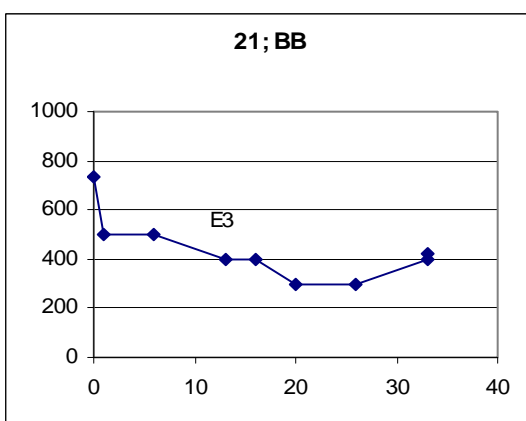
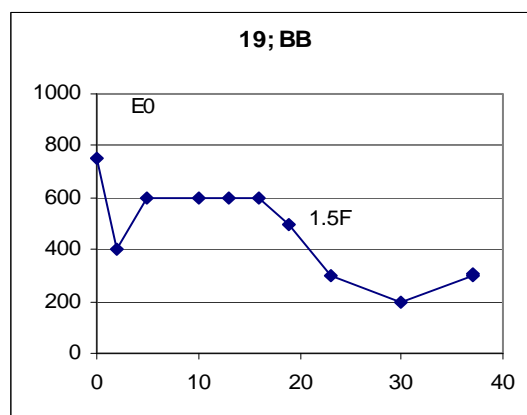
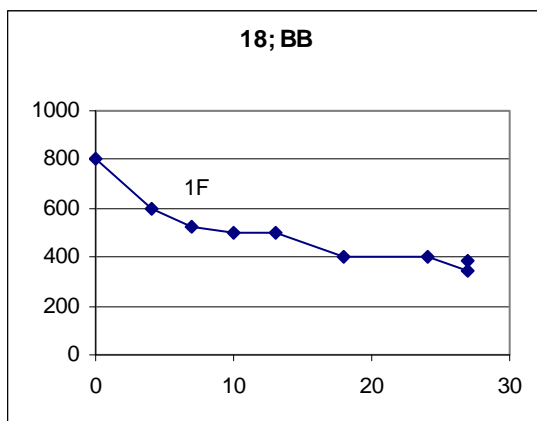
Enfouissement important mais réversible

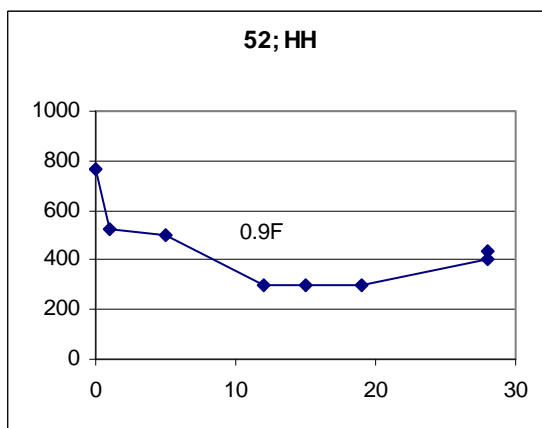
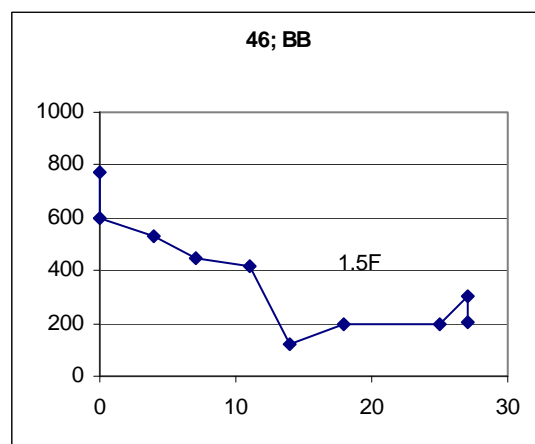
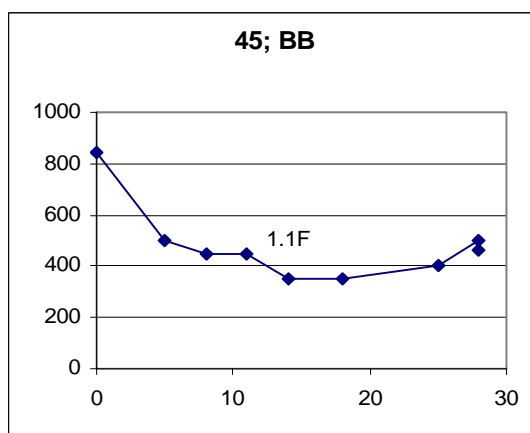
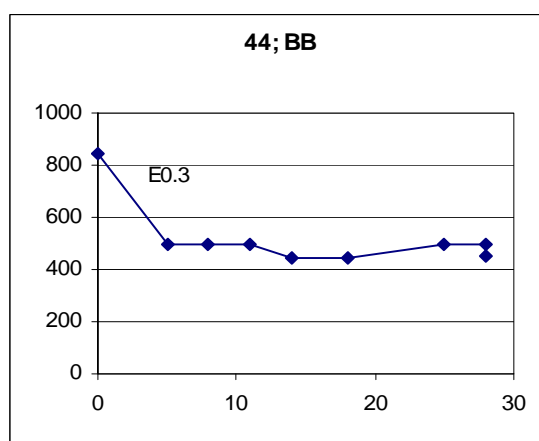
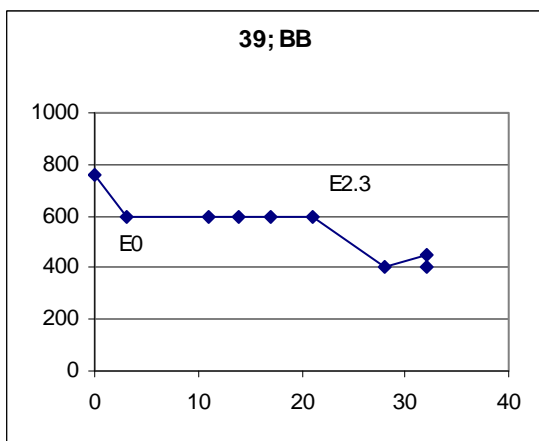
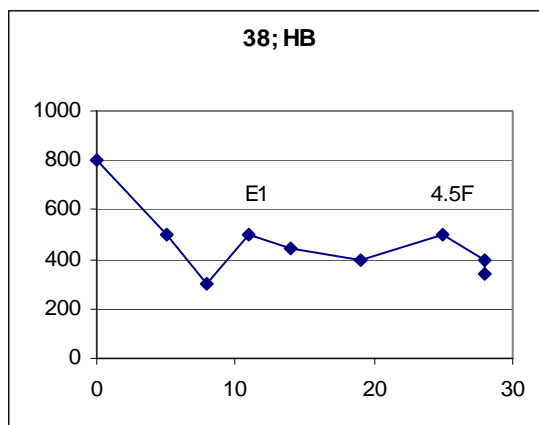
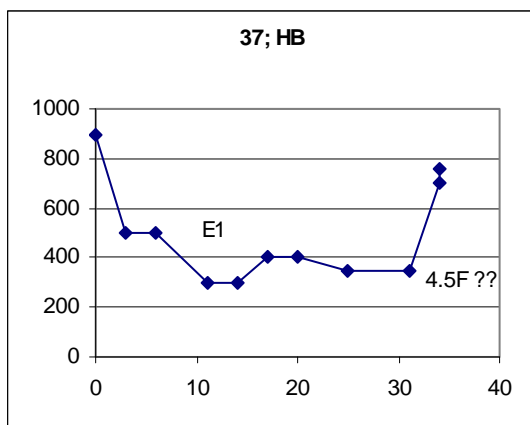




Enfouissement partiel

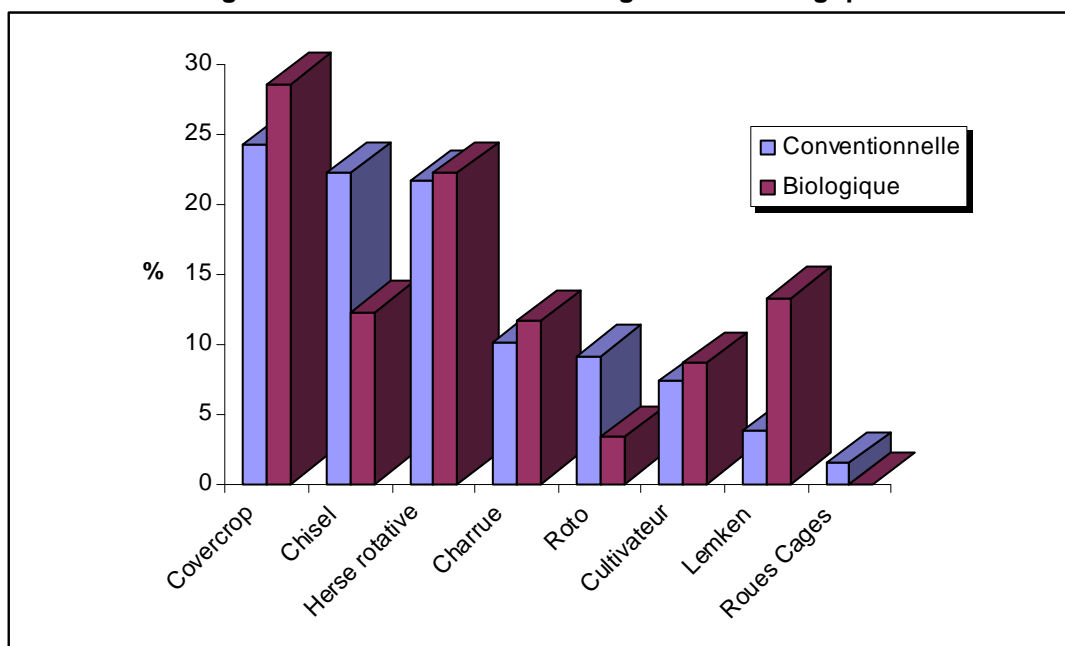






ANNEXE IV : Détail des outils mobilisés par les producteurs de riz en Camargue

Agriculture conventionnelle vs Agriculture biologique



Avec Céréales vs Avec Elevage

